



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

PETRI TEPPO

ALUMIINIRAKENNETUOTANNON LAYOUT-SUUNNITTELU

Diplomityö

Tarkastaja: professori Paul H. Andersson

Tarkastaja ja aihe hyväksytty Automaatio-, kone- ja materiaalitekniikan tiedekuntaneuvoston kokouksessa 5. syyskuuta 2012

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

TEPPO, PETRI: Alumiinirakennetuotannon layout-suunnittelu

Diplomityö, 70 sivua, 2 liitesivua

Elokuu 2012

Pääaine: Tuotekehitys

Tarkastaja: professori Paul H. Andersson

Avainsanat: Layout, U-solu, virtaus, lean, tuotannonkehitys

Kasvu ja toiminnan jatkuva parantaminen ovat välttämättömiä tapoja yrityksen toiminnan kehittämisessä. Tuotannon laajentaminen edellyttää suunnittelua. Mitä nopeampaa kasvu on sitä tärkeämpää on suunnitella muutokset huolella. Tuotantotilojen laajentamiseen liittyy layout-suunnittelu sekä tuotannonohjauksen kehittämistapojen tuntemus, joiden tavoitteena on entistä lyhempi läpäisy aika sekä tuotantotoimintaan liittyvä hukan poistaminen. Työn tavoitteena on tehdä layout-suunnitelmia tuotannon tehostamiseksi nykyisellään sekä laajentamisen huomioon ottaen. Lisäksi työssä tarkastellaan teoriatasolla tuotannonkehitysmenetelmiä, kuten lean-tuotantoa, tavoitteena osoittaa työkaluja sekä kehittämistyön kohteita.

Työn teoriaosassa käsitellään lyhyesti tuotannonohjaustapoja, materiaalivirtojen hallintaa sekä keskitytään esittelemään lean-tuotannon tunnetuimpia osa-alueita kuten yksiosaista virtausta, seitsemää hukkaa ja 5S-menetelmää. Teoriaosan toisessa osuudessa käydään läpi myös layout-suunnittelun tavoitteet, periaatteet, yleisimmät layout-tyypit sekä menetelmiä suunnitelmien laatimiseksi.

Työn tuloksena esitetään lähtötietoihin sekä rajoitteisiin perustuvia layout-ehdotuksia. Ehdotuksiin liittyy myös niitä koskevat arviot ehdotusten vahvuuksista ja heikkouksista. Arviointityökalujen avulla kyettiin asettamaan vaihtoehdot paremmuusjärjestykseen. Lopuksi esitetään tuotannon kehittämiseksi keinoja, joihin keskittyminen mahdollistaisi yksinkertaiset ja edulliset, mutta tehokkaat toimet läpäisyajojen lyhentämiseksi ja tuotannon virtauttamiseksi.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

TEPPO, PETRI: Layout Design of the Aluminum Construction Production

Master of Science Thesis, 70 pages, 2 Appendix pages

August 2012

Major: Product design

Examiner: Professor Paul H. Andersson

Keywords: Layout, U-cell, flow, lean production, production development

The growth and continuous improvement are obligatory means when the developing production. Enlarging the production requires planning. The faster the growth is the more important the proper planning will be. The layout design is related to the production expansion as well as the knowledge of the production development methods. The purpose of those methods is to remove the loss and make the shortened lead times possible. The aim of this thesis is to make layout proposals for a more efficient production at present and after the expansion. Also the production management methods, like the lean production, are presented on the theory level. The aim is to point the targets and to concentrate on the development efforts as well as to present the tools for that.

The theory part of this thesis will present some production management methods, methods for managing the flow of materials and the best know parts of the lean production. One piece flow, seven losses and 5S method all concentrate to add value to the customer and to make that even better than before. Also the principles for layout planning, its targets and limitations as well as the methods for valuating them are presented in the theory part of the thesis.

As a result the layout proposals for different situations are presented. The proposals are designed by taking into account the initial information and the limitations. Also the results of valuation of the proposals are presented as results. The results consist of the strengths and weaknesses of the proposals. By means of the evaluation tools it was possible to find the differences among the proposals when looking for the best solution. At the end of the thesis some simple and low cost, but efficient means for production development are presented. The aim of these is to shorten the lead times and to intensify the material flow in the production.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin kehitysprojektina Riikku Rakenteet Oy:lle. Työ tarjosi riittävän laajaan ja haasteellisen, mutta mielenkiintoisen kehitysprojektin. Haluan kiittää Riikku Rakenteet Oy:tä mahdollisuudesta työn tekemiseen sekä työnantajaani Seinäjoen ammattikorkeakoulua välineistä ja puitteista sekä hallinnollisesta joustavuudesta työn käytännön osuuden suorittamisen osalta.

Haluan kiittää työni tarkastajaa professori Paul H. Anderssonia aktiivisesta otteesta työn eteenpäin viemiseksi sekä hyvistä neuvoista työn sekä käytännön että kirjallisen osuuden suorittamisen osalta. Lisäksi osoitan kiitokset hyvästä yhteistyöstä työn valmistumisen eteen työni ohjaajalle tuotantopäällikkö Mikko Järvenpäälle ja toimitusjohtaja Markus Vanha-aholle sekä muille Riikku Rakenteet Oy:n työntekijöille, jotka olivat vaikuttamassa tämän työn valmistumiseen.

Esitän kiitokset myös vaimolleni Hannalle hänen osoittamastaan ymmärryksestä työn vaatimaa ajankäyttöä kohtaan.

Seinäjoella 13.8.2012

Petri Teppo

SISÄLLYS

Abstract	iii
Termit ja niiden määritelmät	vii
1 Johdanto	1
2 Läpäisy aika	2
3 Tuotannon virtauttamismenetelmät	5
3.1 Tuotannon ohjaus	5
3.1.1 Työntö ohjaus	6
3.1.2 Imu ohjaus	6
3.1.3 Linjan tasapainotus	7
3.2 Materiaalivirtojen tarkastelu - varastointi	8
3.2.1 Varastoiminen ja varastointikustannukset	8
3.2.2 Materiaalien luokittelu ja varastoinnin tunnusluvut	9
3.3 Lean-tuotanto	10
3.3.1 Toyotan tapa	10
3.3.2 Seitsemän hukkaa	12
3.3.3 Yksiosainen virtaus ja imu ohjaus	15
3.3.4 Kanban tuotannon ohjauksessa ja varaston hallinnassa	17
3.3.5 Kaitzen – jatkuvan parantamisen menetelmä	18
3.3.6 5S – siisteyden ja järjestyksen ylläpitämiseksi	19
3.4 Työmenetelmien suunnittelu	22
4 Layout-suunnittelu toistuvassa toimitusprojektituotannossa	25
4.1 Layout-suunnittelun strateginen näkökulma	25
4.2 Layout-suunnittelu	26
4.2.1 Tuotantolinja	31
4.2.2 U-muotoinen layout	32
4.2.3 Funktionaalinen layout	32
4.2.4 Solu-layout	33
4.3 Työkaluja vaihtoehtojen luomiseen ja vertailuun	33
4.3.1 Simulointi	34
4.3.2 Ohjelmistopohjaiset suunnittelumenetelmät laajempien ongelmien ratkaisemiseen	35
5 Tutkimusympäristö	37
5.1 Tuotantoprosessi	37
5.2 Rakennusosatuotannon erityispiirteet	38
6 Kehitystyön lähtötilanne	39
6.1 Lähtötilanteen määrittely ja sitä vastaava layout	39
6.2 Tuotannon kehittämisen muut lähtökohdat	42
7 Layout-ehdotukset eri tilanteissa	43
7.1 Menetelmät ja mallintaminen	43
7.2 Nykyisen konekannan mukainen uusi layout	44

7.3	Uuden hallin rakentamisen aikainen layout vanhoissa tuotantotiloissa.....	44
7.3.1	Suunnittelussa huomioitavat rajoitteet.....	44
7.3.2	Layout-ehdotus ja sen arviointi.....	44
7.4	Tuotantotilojen laajentamistarpeen huomioiva layout	46
7.4.1	SPL-menetelmän soveltaminen	47
7.4.2	SWOT- ja hyötyarvoanalyysi	50
8	Välineitä läpäisyaikojen lyhentämiseksi	54
8.1	Tuotannonohjaus	54
8.1.1	Tuotannon vaiheajat ja niiden lyhennystoimet	55
8.1.2	Vaihe aikojen seurannan toteuttaminen	56
8.2	Sitoutunut pääoma ja varaston kierto nopeus	57
9	Yhteenveto ja jatkokehitysmahdollisuudet	58
	Lähteet.....	60
	LIITTEET	62
	Liite 1: Toimintojen vuorovaikutusmatriisi	62

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

5S	Japanilainen viisi osa-aluetta sisältävä menetelmä työympäristön organisoimiseksi.
ALDEP	Automaattinen layoutsuunnitteluohjelma (Automatic Layout Design Program)
Andon	Visuaalista ohjausta toteuttava näyttö taulu, joka kertoo työaseman toiminnan tilan yhdellä vilkaisulla
CAVE	Kolmeulotteinen virtuaaliympäristö (Cave Automatic Virtual Environment)
CRAFT	Layoutsuunnitteluohjelma (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique)
CORELAP	Layoutsuunnitteluohjelma (Computerized Relationship Layout Planning)
Heijunka	Japanilainen termi joka tarkoittaa tuotannon tasoittamista sekä volyymien että tuotantomäärän suhteen.
JIT	Toyotan kehittämä tuotantotapa, jossa tuotannon tarpeet tyydytetään juuri oikeaan aikaan tapahtuvilla toimituksilla (Just-In-Time)
Kanban	Japanilainen termi, joka tarkoittaa ohjauskorttia tai mitä tahansa merkinantovälinettä.
Kaizen	Jatkuvaa parantamista kuvaava japaninkielinen termi
KET	Keskeneräinen tuotanto.
Lean	Toyotan tuotantofilosofia joka korostaa arvon tuottamista asiakkaalle ja kaiken tarpeettoman toiminnan, hukan, poistamista
ROI	Sijoitetun pääoman tuotto (Return On Investment)
SLP	Systemaattinen layoutsuunnittelu (Systematic Layout Design). Richard Mutherin kehittämä systemaattinen menetelmä layout-suunnittelun toteuttamiseksi.
SWOT	Nelikenttä-työkalu vahvuuksien, heikkouksien, mahdollisuuksien ja uhkien arvioimiseen.
TPS	Toyotan tuotantojärjestelmä, Toyotan valmistusfilosofian toinen nimitys Lean:in lisäksi (Toyota Production System)
Työntutkimus	Ihmisten, materiaalien ja tuotantovälineiden yhteistoiminnan järjestelmällistä tutkimista tarkoituksena löytää paras menettelytapa.

1 JOHDANTO

Vähemmästä täytyy saada enemmän. Tuotannon kehittäminen sekä työn- ja toiminnan laadun jatkuva parantaminen ovat avaintekijöitä valmistavan teollisuuden kilpailukyvyyn säilymiselle. Yrityksen koon kasvaessa kohtaa se kehitysvaiheissaan jatkuvasti uudenlaisia haasteita jokaisella toimintansa osa-alueella. Ennen vähäpätöiseltä tuntunut puoli-valmisteiden varastointi, siellä missä tuotantotiloissa kulloinkin oli tilaa, saattaakin nousta toiminnan laajentuessa yllättävän keskeiseksi seikaksi, kun aletaan tarkastella toimintatapojen kehittämistä tai sitoutuneen pääoman määrää.

Tässä työssä on tarkoitus selvittää layout-suunnittelun periaatteita sovellettavaksi toistuvassa projektituotannossa. Työssä tarkastellaan tuotantoprosessia, joka on vakiintunut nykyiselleen muutamien vuosien olemassa olonsa aikana, ilman erillistä layout-suunnittelua. Työn kohdeyritys on viimeisten vuosien aikana kasvanut vuosittain merkittävästi, ja tavoitteena on pysyä kasvu-uralla. Kasvava tuotanto on alkanut edellyttää suunnitellumpaa tuotantotilojen hyödyntämistä, mikä toimikin tämän työn käynnistäjänä.

Työn tavoitteena oli perehtyä kohdeyrityksen tuotantotoimintaan, ja siten layout suunnittelun keinoin parantaa tuotantotilojen layoutia sekä materiaalivirtoja perimmäisenä tavoitteena lyhentää tuotannon läpäisyaikaa puolella. Tavoitteet voitiin osittaa vaiheisiin siten, että ensiksi mallinnettiin tuotannon layout työn tekemisen aloitushetkellä vuoden 2012 helmi-maaliskuussa. Tästä saatiin lähtökohta eri tarpeisiin tehdyille layout-suunnitelmille. Koko tuotantoalue rakennuksineen ja laitteineen mallinnettiin riittävällä yksityiskohtaisuudella 3d -ympäristössä visuaalisen hahmottamisen helpottamiseksi. Suunnitelmia tehtiin tuotannon materiaalivirtauksen parantamiseksi nykyisellä konekannalla, sekä huomioimalla mahdolliset lähitulevaisuudessa tapahtuvat tuotantokonehankinnat. Lisäksi näissä suunnitelmissa huomioitiin tarpeet toimisto- ja varastotilojen laajentamiselle. Viimeisenä osiona tehtiin suunnitelmia pidemmälle tulevaisuuteen eli mallinnettiin 3d-ympäristössä laajentuvaa tuotantoa ja sen vaatimia lisärakennuksia sekä piha-alueella tehtäviä muutoksia varastointiin ja ajoväyliin.

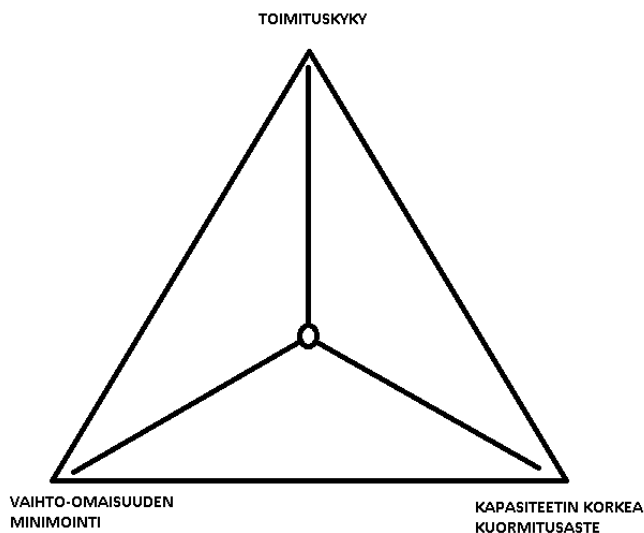
Rajauksia työn suhteen oli hyvin vähän. Tarkoitus oli kuitenkin keskittyä ainoastaan tuotannon virtauttamiseen layout-suunnittelun keinoin, joten tuotannonohjauksen tai toimintatapojen käsittelyä ei käytännön tasolla työhön sisällytetty. Näitä aiheita kuitenkin käsiteltiin teoreettisesti pohjaksi tuleville kehitystoimille.

2 LÄPÄISYAIKA

Läpäisy aika ja sen pienentäminen on yksi keskeisimmistä tuotannon kehittämisen tavoitteista. Toimivalla tuotannon layoutilla sekä erityyppisten hukkaa aiheuttavien toimintojen poistamisella päästään läpäisyajan lyhentämisessä pienellä rahallisella panoksella merkittäviin tuloksiin.

Läpäisy aika voidaan tarkastella kokonaisläpäisy aikana tai valmistuksen läpäisy aikana. Jälkimmäinen käsittää kalenteriajan työn valmistuksen aloittamisesta sen valmiiksi saatamiseksi, kun taas kokonaisläpäisy aika sisältää välin tilauksesta toimitukseen. Läpäisy ajasta suurin osa on tyypillisesti jalostamatonta aikaa eli hukkaa kuten odottelu, asetus aika ja korjaaminen. (Haverila et. al., 2005. s. 401)

Toiminnanohjauksessa keskiössä on kuvan 1. mukainen kolmikanta, jossa keskeisenä vaikuttajana on lyhyt läpäisy aika. Se on ainoa keino kyetä optimoimaan kaikkia kolmea toimintoa yhtäaikaaisesti. Merkittävin vaikutus lyhyellä läpäisy ajalla on keskeneräisen tuotannon (KET) arvon pienenemiseen sekä varastotasojen laskuun ilman että toimituskyky kärsii tai kuormitusasteet laskevat. (Haverila et. al., 2005. s. 402-404)

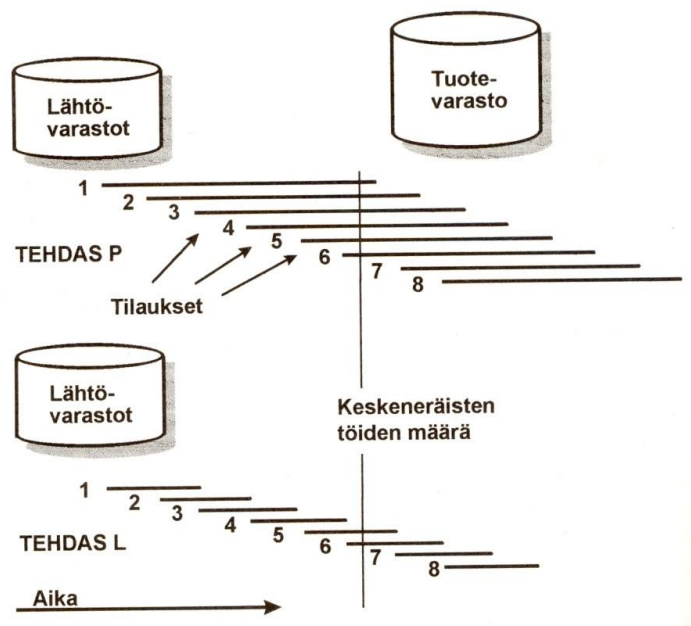


KUVA 1. Tuotannonohjauksen tavoitteiden ristiriitaisuus. (Haverila et. al., 2005. s. 404)

Valmistuserien koon pienentäminen ja vaiheiden välisen varastoinnin vähentäminen ovat tehokkaimpia keinoja vähentää odotusaikaa ja siten lyhentävät läpäisy aika. Valmistuksen eräkoon pienentäminen tosin edellyttää että asetus aikoja on mahdollista lyhentää, jotta pienien erien valmistamisesta saatavissa oleva hyöty materiaalipuskurien poistamiseksi ei kulu asetusten tekemiseen. (Haverila et. al., 2005. s. 406)

Työntekijöiden joutoajan vähentämiseksi on hyvä kasata töitä puskuriin, mutta samalla tuotteen läpäisy aika pitenee. Ainoastaan sitä kannattaa valmistaa mitä käytetään ja vain sen verran kuin tarvitaan. Ylituotanto aiheuttaa odottelua ja turhia siirtoja sekä niihin käytetty aika on pois niiden toimenpiteiden tekemisestä, joita tarvitaan kiireemmin. Uusia töitä kannattaa aloittaa vasta kun edelliset ovat valmistuneet ja puskurivarasto on tyhjä. Työn alla olevaa tuotantoa kannattaa viedä eteenpäin mahdollisimman tehokkaasti, mikä tarkoittaa, että tuotanto etenee kaikissa vaiheissa samanaikaisesti ja valmistaminen työvaiheilla tapahtuu pienissä erissä. (Peltonen, 1997. s. 64-66)

Lyhyt läpäisy aika vaikuttaa myös työn- ja toiminnan laatuun, sillä pieniä eriä valmistettaessa virheet huomataan nopeammin ja niiden aiheuttajaa voidaan puuttua tehokkaammin. Pienempi määrä keskeneräistä tuotantoa helpottaa myös tuotannon ohjausta. Sen seurauksena tuottavuus kehittyy ja virheet vähenevät. Nämä seikat ovat ymmärrettävissä myös kuvasta 2, josta ilmenee lyhyen ja pitkän läpäisyajan keskeiset vaikutukset. (Haverila et. al., 2005. s. 406)



KUVA 2. Pitkän ja lyhyen läpäisyajan teoreettinen ero. (Lapinleimu et. al., 1997 s. 56)

Pitkä läpäisy aika sitoo paljon pääomaa varastoihin sekä pakottaa tekemään enemmän töitä rinnakkain silloin kun markkinoiden hyväksymä toimitusaika on lyhempi kuin läpäisy aika. Parhaimmillaan lopputuotevarastosta voidaan luopua. (Lapinleimu et. al., 1997 s. 55)

Läpäisyajan lyhentäminen johtaa lähes kaikissa tapauksissa jalostavan työn osuuden lisäämiseen ja etenkin jalostamattoman työajan poistamiseen. Valmistuksen läpäisy aikojen kehittämisen osalta tämä johtaa pullonkaulojen etsimiseen ja poistamiseen sekä hukan poistamiseen pyrkivään ajatteluun eli toimintaan Toyotan lean -tuotannon tapaan.

Peltonen (1997. s.66-67) ei kirjassaan Tuottava tehdas suoraan viittaa lean –tuotantoon, mutta asettaa tavoitteeksi asiakasohjautuvan tuotannon, jossa turhan ylläpitämisestä luovutaan läpäisyajojen lyhentämiseksi. Turhaa hänen mukaan ovat: ylituotanto, odotus, turhat kuljetukset, tuhlaus jalostusportaassa, tarpeettomat liikkeet, valmisteiden hylkäämiset ja tarpeettomat varastot.

Lean –tuotannon näkemys läpäisyajan lyhentämiseksi käy ilmi hyvin Jefferey K. Likerin (2009. s. 92-93 teoreettisesta esimerkistä kirjassa Toyotan tapaan). Esimerkissä yksiosaisista virtausta verrataan tavaraeräpohjaiseen työnkulkuun, jossa kokoonpano tapahtuu kymmenen yksikön erissä kolmessa eri työnvaiheessa. Kukin työnvaihe kestää minuutin, joten tämän perusteella tavaraeräpohjaisesti ensimmäinen kokoonpantu tuote valmistuu 21 minuutin kuluttua aloituksesta ja kymmenen kappaleen sarja on valmis 30 minuutin kuluttua. Yksiosaisessa virtautetussa tuotannossa tuote siirtyy vaiheelta toiselle yhden kappaleen erissä. Tällöin ensimmäinen kokoonpantu tuote on valmis kolmessa minuutissa ja kymmenen kappaleen erä 12 minuutissa. Kuljetuserän kokoa pienentämällä säästettiin hukaksi luokiteltavaa odotusaikaa merkittävästi. (Liker, 2009. s.92-93)

Yksiosainen virtaus parantaa laatua, sillä virheet tulevat välittömästi esille varastojen puuttuessa vaiheiden väliltä. Varastojen puuttuminen tarkoittaa myös pienempää KET:iä. Yksiosainen virtaus edellyttää toimivaa tasapainotusta vaiheiden välillä toimintaan moitteetta, eikä sellaiseen tilaan päästä suunnittelemalla ja toteuttamalla virtautettu tuotanto, vaan oppimalla virheistä ja sitoutumalla kehittämiseen. (Liker, 2009. s.95-101)

Läpäisyajat lyhenivät Metso Automationin asennointilaitteiden kokoonpanossa, kun kehitystyössä keskityttiin turhien toimien karsimiseen ja siirryttiin yksitäkappalevirtaukseen. Uusittu kokoonpanolinja käyttää rajallista määrää kokoonpanojigejä, joka pakottaa tekemään yhden työn tai työnvaiheen kerralla valmiiksi ja puuttumaan mahdollisiin ongelmiin kuten materiaalipuutteisiin välittömästi. Rajallinen määrä kokoonpanojigejä rajoittaa myös KET:n määrää. Uusi linja käyttää rullaratoja kappaleiden siirtoon ja nostojen määrä väheni kahdeksastatoista yhdeksään, mikä sekin vähentää tarpeetonta kappaleen käsittelyaikaa. Läpäisy aika lyheni vakiotuotteilla yhdeksästä päivästä yhteen, ja samalla keskeneräisen tuotannon määrä putosi 35:stä yhdeksään. Uudistusten jälkeen havaittu ongelma on psykologinen, sillä työntekijöillä on taipumus tehdä keskeneräinen tuotanto valmiiksi päivän päätteeksi, mikä aiheuttaa aamulla tyhjäkäyntiä linjan loppupäässä. (Tekniikka ja Talous, 2012)

3 TUOTANNON VIRTAUTTAMISMENETELMÄT

Peltosen (1997) motto: ”Yksinkertaistaminen on hyvä tapa, mutta tarpeettomaksi tekeminen on vielä tehokkaampaa”. Muita Peltosen (1997) asettamia tavoitteita tuotannon kehittämiseksi ovat:

- vaiheiden vähentäminen
- läpäisyajan lyhentäminen
- ohjauspisteiden vähentäminen ja itseohjautuvuuden saavuttaminen
- häiriöiden eliminoiminen
- ohjauksen havainnollistaminen eli visualisointi.

Keskeistä on yksinkertaistaa nykyisen tuotannon ohjausta muuttamalla sitä imupohjaiseksi ja visuaalisesti helpommin seurattavaksi. Pullonkaula vaiheisiin tulee kiinnittää huomiota sillä niissä menetetty jalostava aika on poissa myös muusta tuotannosta ja vastaavasti muualla säästetty aika on turhaa, jos se pullonkaulavaiheessa menetetään. (Peltonen. 1997. s. 119-121)

Läpäisyajan lyhentäminen on yksittäinen tärkeä tavoite tuotannon virtauttamisessa, sillä lyhyeen läpäisy aikaan ja vaivattomaan tuotannonohjaukseen ei päästä tehottomalla toiminnalla. Tuotannonohjausta edesauttavat yllä listatut seikat, mutta merkittävää vaikutusta on myös materiaalivirtojen ja layoutin selkeydellä, valmistuserien suuruudella ja ohjattavien nimikkeiden määrällä, kapasiteetin oikealla mitoituksella ja joustavuudella sekä osaavalla ja motivoituneella henkilöstöllä. (Haverila et.al. 2005. s. 405)

Lean-tuotanto käsittää kaikki yllä listatut tavoitteet, mutta on samalla yksinkertaisuudessaan paljon enemmän keskittymällä kaiken tarpeettoman eli hukan poistamiseen. (Liker. 2009)

3.1 Tuotannonohjaus

Tuotannonohjauksella tarkoitetaan tilaustoimitusketjun toimintojen ja tehtävien suunnittelua ja hallintaa tuotannon osalta. Yläkäsite on toiminnanohjaus, johon liittyy lisäksi myynnin, hankintatoimen, suunnittelun, markkinoinnin ja taloushallinnon toimet. Tuotannonohjauksen tavoitteena on ohjata tuotannon resursseja parhaan mahdollisen tuotoksen aikaansaamiseksi yrityksen tavoitteiden mukaisesti. (Haverila et. al. 2005 s. 397)

Tuotantomuoto vaikuttaa oleellisesti tuotannonohjauksen toteuttamiseen. Tuotantomuodon taas määrittelevät valmistettavat tuotteet monimutkaisuudellaan sekä tuotantomäärillään. Rajoituttaessa pieniin ja keskisuuriin yrityksiin konepajasektorilla voidaan todeta tuotannon olevan yleensä erä- tai pienerätuotantoa. Keskeisimpiä tuotannonohjauksen tavoitteita ovat toimitusaikojen ja materiaalien hallinta tai töiden oikea ajoitus tuotan-

nossa. Palvelun laadun mielessä tavoitellaan joko tehokasta tuotantoa pyrittäessä nopeisiin toimitusaikoihin tai hyvää asiakaspalvelua räätälöinnillä ja joustavuudella. (Ritvanen et. al., 2011. s. 46-48)

Tuotteiden ja tuotannon ominaisuuksista sekä asiakasvaatimuksista ja vaadituista toimitusajoista riippuen tuotantoa voidaan ohjata eri tavoin. Vaihtoehtoja ovat:

- Varasto-ohjautuva tuotanto (MTS; Make-To-Stock)
- Tilausohjautuva tuotanto (MTO; Make-To-Order)
- Asiakasohjautuva tuotanto (ATO; Assemble-To-Order)
- Asiakasohjautuva tuotesuunnittelu (ETO; Engineer-To-Order)

Ohjaustapa voi vaihdella yrityksen sisällä tarpeen mukaan. MTO-ohjaustapa toteuttaa työntöohjausmenetelmää, kun taas MTO-ohjaustapa toimii imuohjattuna. Kuten edellisetkin ohjaustavat, niin myös ATO edellyttää että komponentteja on saatavilla eli varastoon sitoutuu runsaasti pääomaa tai hankintaketju on nopea. Asiakaskohtaiset tuotteet suunnitellaan aina tarpeeseen, joten ETO menetelmässä tilaus-toimitusketjun läpäisy aika on joka tapauksessa pidempi. (Ritvanen et. al. 2011. s. 48-49)

3.1.1 Työntöohjaus

Työntöohjauksessa valmistuserät työnnetään tuotantoon suunnitelman mukaisessa järjestyksessä. Valmistussuunnitelma voi perustua esimerkiksi ennusteisiin tilauksista. Suunnitelmat eivät aina toteudu käytännössä, mikä johtaa välivarastointiin, ja hienokuormituksen sekä valmistuksenohjauksen uudelleensuunnitteluun. Välivarastot hankaloittavat ohjauksen uudelleensuunnittelua entisestään ja pidentävät samalla läpäisyajoja. Työntöohjaus on hyvä suunnittelumenetelmä, mutta edellyttää vakioidumpia tuotteita ja tuoterakenteita sekä valmistukselta hyvää hallittavuutta. Työntömenetelmä tarjoaa imuohjausta tiiviimmän varastotasojen ja valmistuvien tuotteiden seurannan. (Haverila et. al., 2005. s. 422-423; Krajewski & Ritzman. 2005. s. 484)

3.1.2 Imuohjaus

Imuohjattu tuotanto tarkoittaa, että vain kulutettujen tuotteiden tilalle valmistetaan vastaava määrä uusia. Kuluttaja voi olla seuraava työnvaihe, valmistuotevarasto tai asiakas. Imuohjauksessa pyritään minimoimaan kuljetuserät pyrkimällä mahdollisimman pienen eräkokoon. Pienen eräkokoon voidaan päästä vain pienentämällä asetusajoja. Imuohjauksen toimintaa voidaan edesauttaa käyttämällä visuaalista ohjausta kuten kuljetuslaatikoiden tiettyä määrää, kanban-kortteja, oikein mitoitettuja kuljettimia tai rullaratoja. Tavallaan imuohjausta hallitaan käyttämällä pieniä nopeasti kiertäviä välivarastoja. Joka tapauksessa imuohjaus edellyttää suhteellisen tasaista materiaalimenekkiä. (Haverila et. al., 2005. s. 422-423; Peltonen, 1997. s. 62-63)

Työntöohjauksessa työn ohjausimpulssi tulee tuotantoketjun ulkopuolelta, kun imuohjauksessa impulssi tulee seuraavalta vaiheelta. Näitä ohjaustapoja voidaan yhdistellä esimerkiksi siten varsinainen tuotanto ja tilauskohtaiset työt ohjataan työntöohjauksella, ja tuotannon sisäiset työvaiheet ja osakokoonpanot toimivat imuohjausperiaatteella. (Haverila et. al. 2005 s. 423)

3.1.3 Linjan tasapainotus

Linjan tasapainotuksen tarkoitus on jakaa työkuorma siten, että jokaisella työasemalla on ajallisesti suunnilleen yhtä paljon työtä. Tavoitteena on pullonkaulatonta materiaalinvirtaus. Haasteita tasaisen virtauksen osalta asettaa työvaiheiden vaatimat erilaiset prosessointiajat, laitevaatimukset sekä erikoistyyövaiheet kuten maalaus tai lämpökäsittely, jotka täytyy eristää normaalista tuotannosta. (Stevenson. 2005. s. 262)

Tuotantolinjan työt täytyy jakaa työvaiheille, joille määritellään vaiheaika. Työ täytyy tehdä vaiheajassa tasaisen virtauksen toteutumiseksi. Kun asetetaan haluttu päivittäinen tuotantotavoite sekä vaiheaika ja jaetaan luvut keskenään, saadaan teoreettinen linjan työasemien määrä. Tämä luku pyöristetään ylöspäin seuraavaan tasalukuun. Seuraavaksi linjan työvaiheet jaetaan työasemien kesken eli tasapainotetaan linja. Sen edellytyksenä on työvaiheista ja niiden läpäisyajoista muodostettu vuokaavio, josta näkyy mikä vaihe seuraa edellistä ja mitkä ovat rinnakkaisia työvaiheita. Työvaiheita yhdistelemällä siten, että asetettu vaiheaika tulee mahdollisimman tehokkaasti käytettyä, voidaan työvaiheet jakaa linjan työasemien kesken. Työjärjestyksessä seuraava vaihe, joka ei läpäisyajaltaan sovi edellisen työaseman alaisuuteen vaiheajan ylittymisen vuoksi siirtyy seuraavalle työasemalle. Tällä menetelmällä työasemien vaiheaika tulee täytettyä kokonaan tai osa siitä jää käyttämättä. Tehokkuus ei koskaan ole sataa prosenttia, ja etenkin ihmisten tekemässä työssä tulee huomioida myös työn tekemiseen kuluvan ajan vaihtelu. Kokonaisläpäisy aika kuitenkin pysyy tavoitteen mukaisena. Muita työvaiheiden yhdistämiseen liittyviä harkittavia seikkoja ovat esimerkiksi vaatimustasoltaan erilaisten työvaiheiden sijoittaminen samaan työasemaan tai muut fyysiset rajoitteet, kuten tulen ja palavien nesteiden käsittely samassa työasemassa. (Stevenson. 2005. s. 264-268; Krajewski & Ritzman. 2005. s. 319-325)

Muita tasapainottamisen lähtökohtia ovat pullonkaulavaiheiden poistaminen pyrkimällä jakamaan pullonkaulavaihe rinnakkaista työtä tekeväksi asemaksi. Liikkuvan työntekijäresurssin käyttäminen viittaa dynaamiseen linjan tasapainottamiseen, jossa joutoaikaa sisältävältä työvaiheelta työntekijä siirtyy työskentelemään ruuhkautuneelle työvaiheelle. (Stevenson. 2005. s. 269)

Vaiheiden välistä puskurointia voidaan osittain välttää suunnittelemalla linjan työasemien vaiheajat siten että seuraavan vaiheen vaiheaika on 5...10% edellistä pienempi, jolloin saadaan syntymään imuvirtaus kun myöhempi vaihe ehtii valmistua seuraavan työn alta pois. (Lahtinen. 2008; Teppo. 2009)

3.2 Materiaalivirtojen tarkastelu - varastointi

Materiaalien käsittely ja hallinta on tuotannolliselle toiminnalle välttämätöntä. Materiaalinhallinnan kaksi päätavoitetta ovat halutun palvelutason ylläpito sekä materiaalihallinnan kokonaiskustannusten minimointi. (Haverila et al. 2005. s. 442-444)

Varastointi ei yleensä kuitenkaan lisää tuotteen arvoa, paitsi tilanteissa, joissa asiakas on valmis maksamaan tuotteesta korkeampaa hintaa, kunhan sitä on toimittajan varastosta heti saatavissa. Perussääntö on, että varastoimalla saatava hyöty täytyy olla suurempi kuin varastoimattomuudella saatava hyöty. (Ritvanen & Koivisto, 2007 s. 34)

Varastotasojen valvontaan sekä tilauspisteiden määrittelyyn löytyy runsas määrä erilaisia helposti sovellettavia menetelmiä, joita ei tässä työssä tarkastella. Seuraavissa luvuissa selvitetään keskeisimmät periaatteet ja mittarit, joihin kannattaa syventyä varastointikustannuksiin syvemmin pureuduttaessa.

3.2.1 Varastoiminen ja varastointikustannukset

Varastointi tarkoittaa fyysisiä varastotiloja tai niissä tapahtuvia toimintoja, kun taas varastonohjaus tarkoittaa materiaalivirtojen ohjausta ja varastoihin sitoutuneen pääoman hallintaa. *Varastonhallinta on päätöksien tekoa asetetun palvelutason ylläpitämiseksi ilman, että varastointikustannukset nousevat ja kate pienenee.* (Ritvanen & Koivisto, 2007 s. 34-36) Kokonaiskustannukset muodostuvat Haverilan (2005) ja Krajewskin & Ritzmanin (2005) mukaan seuraavista kustannuksista:

- ostettavien materiaalien hinta ja pääomakustannus
- ostotoiminnan kustannus
- kuljetus- ja käsittely
- varastointi ja jakelu
- materiaalivirheiden ja puutteiden aiheuttamat kustannukset tuotannossa
- reklamaatiot.

Oikean varastotason laskeminen edellyttää useiden eri muuttujien huomioon ottamista ja arvottamista, jotta voidaan laskea kokonaistaloudellisesti optimaalinen varaston suuruus. Varastoinnin aiheuttamista kustannuksista suhteessa varaston arvoon suurin tekijä on sitoutuneen pääoman korko, jonka suuruus vaihtelee yrityskohtaisesti, mutta on tyypillisesti 10...20 % välillä. Kokonaisuudessaan varastoinnin aiheuttamat kustannukset ovat noin 20...40 % varaston arvosta. (Haverila et al. 2005. s. 442-444; Ritvanen et al. 2011. s.79-93)

Tuotantotoiminnassa varastoja on eri tyyppisiä, ja niiden syntymiseen on joukko erilaisia syitä. Tuotteita voidaan hankkia tai valmistaa säilytettäväksi varsinaisessa varastossa, koska halutaan säilyttää ulkoisten ja sisäisten asiakkaiden edellyttämä palvelutaso tilanteissa joissa menekin vaihtelu ja tilausten toimitusajat eivät ole hallinnassa tai kokonaiskustannusten optimointi edellyttää suurempia hankintaeriä esimerkiksi hintojen nousun uhatessa. Näitä varastoja ovat kierto-, varmuus-, kausi- ja suojausvarastot. *Tuotannossa sijaitsevat varastot ovat merkittäviä kustannusten aiheuttajia.* Nämä varastot syntyvät materiaalien ja puolivalmisteiden puskuroinnista tai kuljetuksista työnvai-

heiden välillä kun työvaiheet etenevät epätahdissa, edellyttävät asetusajkojen vuoksi suurempia eria käsiteltäväksi tai sijaitsevat etäällä toisistaan ts. kun läpäisy aika on pitkä. Myös toiminnan tai tuotantoprosessien laatuongelmien peittämiseksi saatetaan joutua turvautumaan varmuusvarastoon. (Haverila et al. 2005. s. 446-449; Ritvanen et. al. 2011. s.80-82)

Krajewski & Ritzman (2005) lisäävät edellisiin vielä tuotannon tarvikkeiden ja työkalujen sekä huollon ja korjauksien vaatimat varastot. Teollisuuden alasta riippuen niilläkin saattaa olla merkittävä osuus varaston arvosta. Prosessiteollisuudessa varaosavarastoon sitoutuu paljon pääomaa ja muotteja käyttävä teollisuus sitoo osan pääomastaan muotteihin ja työkaluihin, joita varastoidaan käyttöjaksojen välillä.

3.2.2 Materiaalien luokittelu ja varastoinnin tunnusluvut

Tilauspisteiden määrittelyä voi toteuttaa laskentaan perustuvien menetelmin, jos käytävissä ovat varastosaldot, luotettavat menekkiennusteet, tilauksien toimitusajat ja niiden hajonnat, laskelmat varastointi-, tilaus- ja puutekustannuksista sekä tuotteiden luokittelujärjestelmä. (Krajewski & Ritzman, 2005 s. 553)

Materiaalien luokittelussa tärkein työkalu on **ABC-analyysi**, jolla jaotellaan tuotteet eri luokkiin käyttäen perusteena niiden kriittisyyttä toiminnalle, hankintaan ja hallintaan liittyvää haastavuutta ja kustannuksia. A-luokan nimikkeiden lukumääräinen osuus kaikista materiaaleista tulee olla noin 10...20 %, kustannuksen ollessa vastaavasti noin 70...80 %. B-luokkaan kuuluvien nimikkeiden määrä tulee olla suunnilleen 30...40 % nimikkeistöstä kustannuksen ollessa noin 15 % varaston vuotuisesta arvosta. Loput 5...10 % kustannuksista muodostuu jäljelle jäävästä nimikkeistöstä, jota on noin puolet kaikista nimikkeistä. Analyysi ohjaa käyttämään resursseja tehokkaammin. Kustannusrakennetta optimoitaessa A-luokan nimikkeiden valvontaan ja hankintaan tulee panostaa eniten ja C-luokan nimikkeisiin vähiten. Eri luokkia voidaan valvoa ja täydentää erilaisilla menetelmillä; A-nimikkeet voidaan hankkia tuotantotilaukskohtaisesti, B-nimikkeitä voidaan seurata viikottain sekä täydentää sopivalla menetelmällä. C-nimikkeiden saattavuus tulee varmistaa vähemmän seurantaa vaativalla tavalla. Jokaiselle nimikeluokalle voidaan laskea ja asettaa omat varastonkiertonopeudet, joita seurataan. (Krajewski & Ritzman, 2005 s. 556-557; Ritvanen & Koivisto, 2007 s. 38-40)

Varaston kiertonopeus tarkoittaa tunnuslukua, joka ilmaisee kuinka monta kertaa varasto vaihtuu tarkastelujakson aikana, joka on vuosi. Luku saadaan jakamalla vuotuinen käyttö tai myynti varaston vuotuisella keskimääräisellä arvolla. Yksikkönä voidaan käyttää rahallisen arvon sijasta myös muita yksiköjä kuten lukumäärää tai massan tai pituuden mittayksiköjä. Sopiva kieronopeus riippuu teollisuuden alasta, mutta mitä pienikatteisempaa ja joukkotuotantomaisempaa toiminta on, sitä suurempi kiertonopeuden tulee olla. Korkea kiertonopeus viestii varastohallinnan tehokkuudesta sekä ehkäisee varastoa vanhentumasta. (Krajewski & Ritzman, 2005 s. 553; Ritvanen & Koivisto, 2007 s. 36-38)

Yrityksen kannattavuutta voidaan pyrkiä parantamaan nostamalla varaston kiertonopeutta. Mitä suurempi kiertonopeus on sitä vähemmän varastoihin sitoutuneen pääoman

arvo on suhteessa liiketoiminnan volyymiin. Liian varaston poistaminen pienentää kiertonopeutta, mutta kiertonopeuden osa-optimointi saattaa johtaa varaston palvelutason laskuun ja puutetilanteisiin. (Ritvanen & Koivisto, 2007 s. 37-38)

Sijoitetun pääoman tuotto-prosentti eli ROI (Return On Investment) kuvaa pääoman tuottoa prosentteina, ja on siten vahvasti kytköksissä tuotantoon sidottuun pääomaan eli kiinteään omaisuuteen, rahoitusomaisuuteen sekä varastojen ja keskeneräisen tuotannon suuruuteen eli vaihto-omaisuuteen, joka aiheutuu tuotannon vaatimasta läpimenoajasta. Sijoitetun pääoman eli tässä varastojen kiertonopeutta kasvattamalla saadaan sijoitetun pääoman tuotto-prosentti paranemaan, ja oletettavasti myös kiinteiden kulujen laskiessa voitto-% paranee. (Ritvanen et. al., 2011 s. 95-96)

3.3 Lean-tuotanto

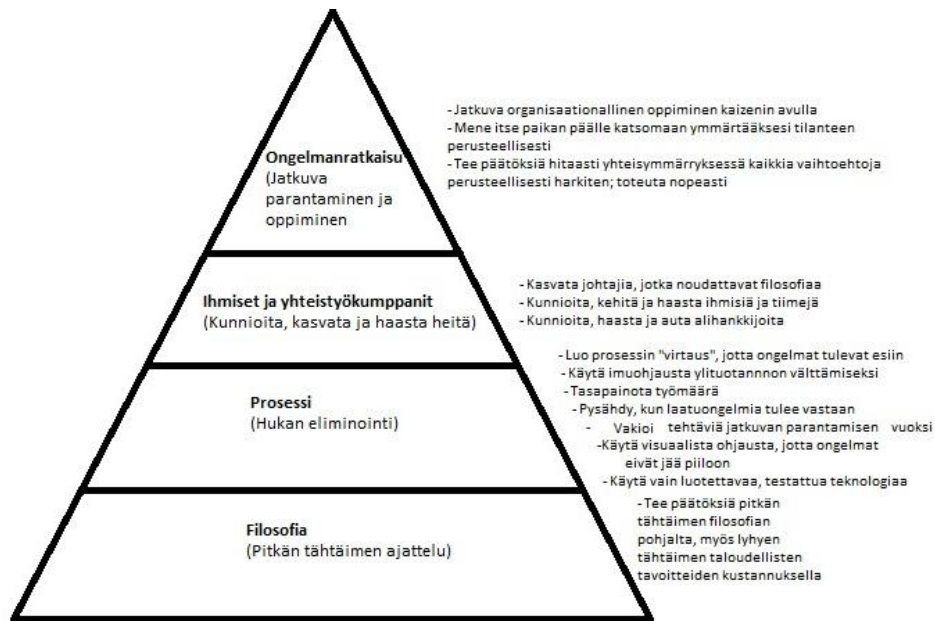
Toyotan valmistusfilosofia tunnetaan Japanin ulkopuolella nimellä lean, mutta Toyota käyttää siitä nimitystä TPS (Toyota Production System). Toyotan luoma ja käyttämä lean-tuotantofilosofia *tähtää arvon tuottaminen asiakkaalle ja tarpeettoman toiminnan eliminointiin* siten, että tuote virtaa arvonlisäysprosessin läpi keskeytyksettä. (Liker, 2009)

3.3.1 Toyotan tapa

Toyotan tavat ja ajattelu juontavat juurensa muutaman sukupolven taakse aikaan ennen kuin Toyota valmisti autoja. Kantava ajatus niistä ajoista saakka on ollut yhtiön pitkän tähtäimen edun tavoittelu sekä vastuun ottaminen ongelmatilanteissa. Varsinainen lean-ajatettelu sai alkunsa kun Toyotan tehtailla asetettiin tavoitteeksi toisen maailman sodan jälkeen päästä tuottavuudessa Fordin tasolle. Toyotalla ei ollut Japanin pienillä markkinoilla mahdollisuutta joukkotuotannon toteuttamiseen, vaan sen täytyi kyetä valmistamaan pieniä määriä erilaisia autoja suurella tehokkuudella asiakasvaatimusten tyydyttämiseksi. Joukkotuotannon kokoonpanolinjaa vastaava yksiosainen virtaus piti toteuttaa ilman suuria välivarastoja hukkaa eliminoimalla, sillä tilaa ja pääomaa oli käytössä niukasti. Amerikkalaisia autonvalmistajia tutkimalla sekä soveltamalla esimerkiksi päivittäistavarakaupan maitohyllyn täydennystapaa imuohjauksen toteuttamiseksi Toyotan insinöörit loivat yhdessä 1950-luvulle tultaessa Toyotan tuotantojärjestelmän. Menetelmän peruspilareina on yksiosainen virtaus, joka toteutuu kun seuraavalle työvaiheelle toimitetaan oikeaan aikaan vain se määrä tuotteita mikä on tarpeen säästämällä varastointia, kirjaamista ja ylläpitoa. Toyota aloitti 1960-luvulla oppiensä levittämisen yhteistyökumppaneilleen, ja vähitellen yksittäisistä lean-yrityksistä syntyi lean-yhtiö. Toyotan ulkopuolelle lean-ajatettelu levisi vasta 1973-öljykriisin jälkeen, kun havaittiin Toyotan selvinneen kriisistä muita nopeammin ja vähemmin tappioiden. (Liker, 2009 s. 15-25)

Sitten Toyota on tehnyt runsaasti yhteistyötä muun muassa General Motorsin kanssa, ja muutenkin avoimesti kertonut tuotantoprosessissaan käyttämistä työkaluista. Toyotan tuotantojärjestelmä on kuitenkin kasvanut ja kehittynyt yhdessä yhtiön kanssa, ja se on aina ollut ja siitä on tullut osa koko yhtiön filosofiaa. Leanin mukainen toiminta ei

ole pelkästään erilaisten tuotantoa parantavien työkalujen ja toimintojen toteuttamista vaan, pitkän tähtäimen sitoutumista sekä jatkuvaa oppimista. Useat lean-yrityksenä itseään pitävät keskittyvät vain hukan eliminointiin prosessitasolla, mutta päätyvät tulipalojen sammutteluun ja turhautuneisuuteen, sillä he eivät ole sitoutuneet pitkän tähtäimen kehitystyöhön. Kuva 3 esittää Toyotan nelitasoisen mallin, joiden sisäistäminen mahdollistaa lean-yrityksen syntymisen. Useimmat vain työkaluihin keskittyvät yritykset sijaitsevat kuvan toisella tasolla. (Liker, 2009 s. 6-25)



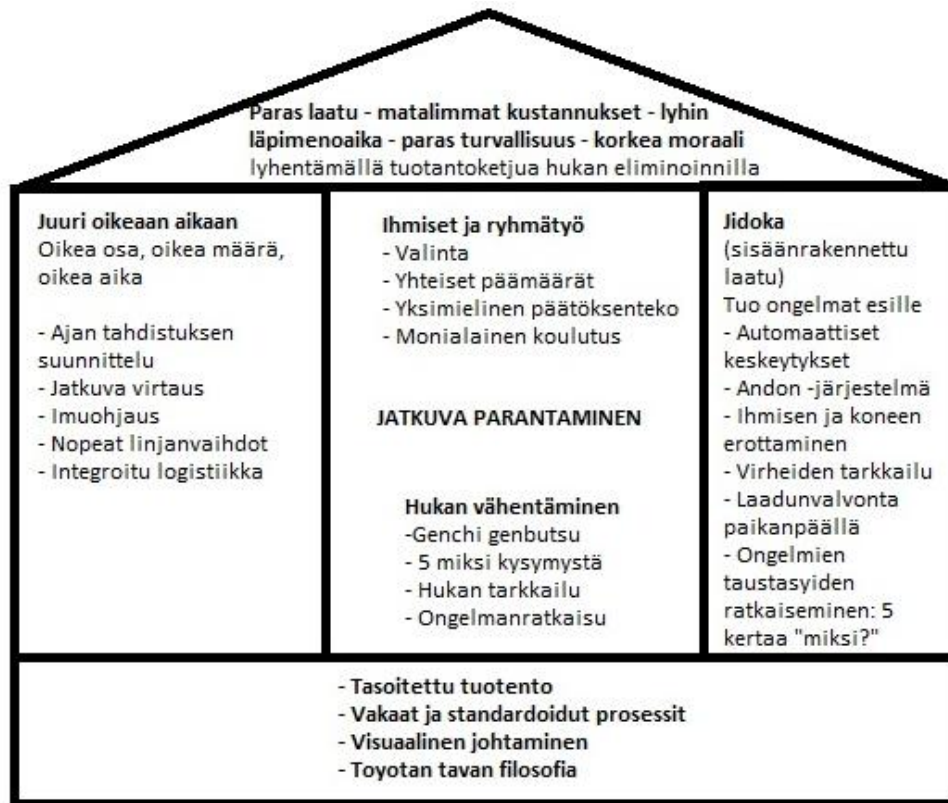
KUVA 3. Toyotan tavan neljän periaateluokan malli (mukaillen Liker, 2009 s. 6)

Lean-järjestelmää voidaan kuvata myös jäävuorimallilla, jossa pinnan yläpuolella ovat tunnetut työkalut hukan poistamiseksi ja virtauksen luomiseksi, mutta suurimman osan muodostaa pinnan alapuolinen osa, joka koostuu työskentelykulttuurin muutoksesta ja ihmisten sitouttamisesta. Likerin Toyotan tapaan -kirja pohjautuu useisiin Toyotan eri toimintojen johtajien haastatteluihin, ja ajattelutavan muuttaminen tärkeys prosessin mahdollistajana korostuu lähes jokaisessa käsitellyssä aihepiirissä. (Liker, 2009)

Lean-kulttuurin luomisessa avainsana on sitoutuminen. Toinen tärkeä elementti on nöyryys oppia ja muuttua. Tavoitteena on luoda ajatteleva tuotantojärjestelmä, joka kannustaa ihmisiä oppimaan ja kehittämään toimintaa omaehtoisesti ilman jäykkää ylhäältäpäin johtamista. Oppimiseen kuluu myös avoin tiedonvälitys ja parhaiden käytäntöjen siirtäminen. (Tuominen, 2010. s.39-52)

Toimintoja, joissa sitoutuminen ja ajattelutapa näkyvät suoraan tekemisessä ovat jatkuva parantaminen, välitön puuttuminen ongelmiin ja niiden ratkaiseminen tuotannossa, tiivis yhteistyö tarkkaan valikoidun toimittajaverkon kanssa, konsensukseen perustuva päätöksenteko, vastuun ja päätöksentekomahdollisuuden antaminen organisaatiossa alemmalle tasolle sekä ennakoiva huolto. (Liker, 2009.; Stevenson, 2005 s.693-729)

Toyotan tuotantojärjestelmä esitetään usein talokaaviona (kuva 4), joka kuvastaa järjestelmän vahvuuden muodostuvan siitä, että jokainen osa-alue on vahva, ja osa-alueet tukevat toisiaan.



KUVA 4. Toyotan tuotantojärjestelmän talomalli (mukaillen Liker, 2009)

Talomallin kokoaa yhteen katto, joka tiivistyy mataliin kustannuksiin, parhaaseen laatuun sekä nopeaan läpäisy aikaan. Tämä on mahdollista jos oikeat toiminnot tuotannossa tapahtuvat juuri oikeaan aikaan (JIT). Virtaavan tuotannon edellytys on sisään rakennettu laatu, järjestelmä joka tuo ongelmat esille heti niiden ilmaantuessa. Mainitut seinät muodostavat toiminnot makaavat tukevan perustan päällä, sillä ilman tasoitettua tuotantoa ja standardoituja prosesseja ei tehokas toiminta ole mahdollista. Kaiken keskiössä on kuitenkin ihmisten tekemä työ jatkuvan parantamisen eteen. (Liker, 2009. s. 32-33)

Seuraavaksi käsitellään tarkemmin menetelmiä ja tapoja, joiden avulla Toyota on luonut toiminnastaan yliveraisen.

3.3.2 Seitsemän hukkaa

Prosessin arvontuotto voidaan määritellä kolmeen eri luokkaan: arvoa tuottavat, arvoa tuottamattomat, mutta välttämättömät sekä arvoa tuottamattomat turhat aktiviteetit. Kaikki toimet mitkä eivät lisää tuotteeseen asiakkaan kannalta arvoa on hukkaa. Tuotteen valmistaminen kuitenkin saattaa vaatia toimia, kuten viranomaismääräysten täyttämistä tai edellytettyä dokumentointia, joka ei suoraan lisää tuotteen arvoa, josta asiakas on valmis maksamaan. Varsinaisen arvoa lisäävän työn osuus kokonaisajasta on monessa tapauksessa hyvin pieni, esimerkiksi 5 %, välttämättömien arvoa tuottamatto-

mien aktiviteettien osuuden ollessa kolmasosa kokonaisajasta. Loppu 65 % on arvoa lisäämätöntä hukkaa. Seuraamalla tuotteiden, materiaalin ja tiedon etenemistä tuotannossa ja merkitsemällä tapahtumia virtauskaavioon tehdään tuotteelle arvovirta-analyysiä. Analyysi on kehitystyökalu arvoa lisäävän toiminnan parantamiseksi ja arvoa lisäämättömän toiminnan erottelemiseksi. Tietovirrat ja toimintatavat huomioimalla se on kuitenkin kattavampi kuin pelkkä työajanmittaus. (Moisio, 2011; Stevenson, 2005. s. 716-717)

Sekä sisäinen että ulkoinen asiakas on kiinnostunut edeltävän prosessin tuotoksesta vain niiltä osin kun se on tuottanut lisäarvoa tälle seuraavalle asiakkaalle. Arvonlisäys prosessissa tapahtuu vain kun esine, palvelu tai tieto muuttaa muotoaan tai sisältöään tavoitteiden mukaiseksi. Kaikki muu työnvaiheessa tapahtuva toiminta on jalostamatonta työtä, josta tulee pyrkiä eroon. Toyota on tunnistanut prosesseissaan seuraavat seitsemän lisäarvoa tuottamatonta hukan tyyppiä: (Liker, 2009. s. 28-29)

- Ylituotanto eli tilaamattomien osien valmistaminen, joka aiheuttaa muita ylimääräisiä toimenpiteitä
- Odottelu, jolle on mitä moninaisimpia syitä
- Tarpeeton kuljettelu
- Ylikäsittely tai virheellinen käsittely eli ylilaadun tuottamisen aiheuttama hukka tai keinojen työvälineiden aiheuttama ylimääräinen työ tilanteen korjaamiseksi
- Tarpeettomat varastot, joihin ongelmia on helppo piilottaa
- Tarpeeton liikkuminen kuten osien etsiminen tai työvälineiden kurkottelu
- Viat, joista seuraa uudelleenvalmistusta, tarkastusta ja muuta tarpeetonta käsitteilyä

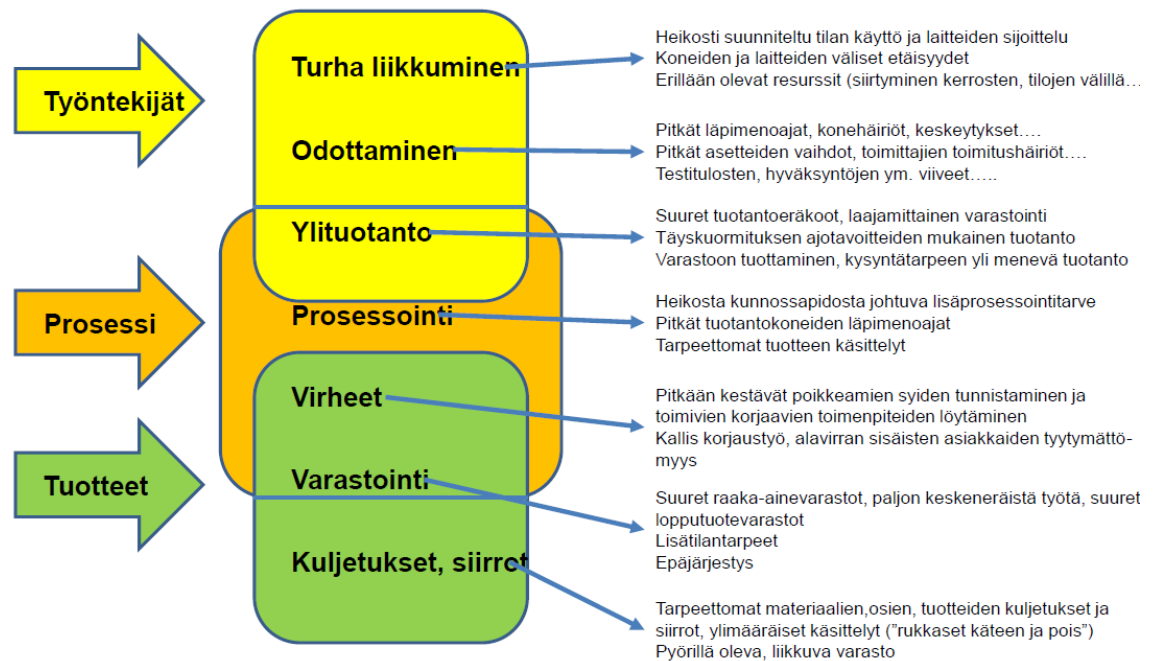
Kahdeksas hukan tyyppi on työntekijän luovuuden käyttämättä jättäminen, jolloin menetetään mahdollisuus oppimiseen ja jatkuvaan parantamiseen. Tärkeää on sijoittaa tai siirtää työntekijä sellaisiin tehtäviin, jossa hänen kykynsä pääsevät parhaiten esiin. Kyvyille sopimattomassa työssä tekee helposti virheitä ja vääriä ratkaisuja, joka johtaa laatuvirheisiin ja tuottavuusongelmiin aiheuttaen siten muunkin tyyppistä hukkaa. Kun työntekijä sisäistää periaatteet hukan eliminoimiseksi alkaa hän helposti löytää keinoja sen poistamiseksi. (Liker. 2009. s.29; Ortiz, 2006. s. 32)

Ylituotanto on hukan muodoista pahin, sillä se aiheuttaa suurimman osan muista hukan muodoista aiheuttamalla välivarastoja, laskemalla motivaatiota kehittää prosessia, piilottamalla ongelmia ja heikkoa laatua sekä aiheuttamalla ylimääräistä liikuttelua sekä ylläpitotyötä. Valmistamalla enemmän kuin tarvitaan aiemmin kuin tarvitaan, pyritään varmistamaan tuotannon sujuminen kun tiedossa on, että tuotannonohjauksessa tai laitteissa saattaa ilmetä heikkouksia, jotka aiheuttavat laatuvirheitä ja viivytyksiä. Ylituotanto saattaa olla seurausta myös käyttäjä koneita korkeilla käyttöasteilla, mistä aiheutuu suuria tarpeita varastoida keskeneräisiä tuotteita. Sen seurauksena taas uutta materiaalia hankitaan ennenaikaisesti lisää. (Liker. 2009. s.29; Ortiz, 2006. s. 28-29)

Muiden hukkatyyppien piirteet korostuvat ylituotannon seurauksena. Odotusajat prosessin eri vaiheissa ovat seurausta tahdistamattomasta tuotannosta, osapuutteista, pitkistä asetusajoista, epäyhtenäisistä käytännöistä sekä *huonosta tiedonkulusta*. Tästä jalosta-

mattomasta työstä aiheutuu runsaasti kustannuksia, kun jalostava työ joudutaan tekemään kaiken odottelun jälkeen. Ylimääräisestä kuljettamisesta aiheutuu jalostavan työajanmenetyksiä ja kuljetuskustannuksia. Myös tuotteiden vahingoittumisen vaara kasvaa. Ylimääräinen kuljettaminen on usein seurausta huonosta layout-suunnittelusta ja töiden aikatauluttamisesta. Ylikäsittelyä aiheutuu tilanteissa, joissa prosessi tuottaa selkeästi parempaa laatua kuin asiakas olettaa tai edellyttää. Monesti ylikäsittelyyn liittyy esimerkiksi tarpeetonta tai liiallista pakkaamista, varastointia ja ylilaaatua tuottavia hienotyöstömenetelmiä. Ylikäsittely täytyy kyetä erottamaan jalostamattomaksi työksi. Tarpeettoman varaston poistaminen on tehokkain keino pienentää sitoutunutta pääomaa, mutta monesti tuotantoprosessin ja varastonhallinnan heikkoudet ovat syynä tarpeettoman suuriin varastoihin. Linjatuotannossa saattaa tuotteen valmistamiseen nähden liian pitkä tuotantolinja olla syy keskeneräisen tuotannon suuruuteen. Tarpeeton liike on helposti tunnistettavissa lyhyellä seurannalla. Materiaalien ja työkalujen etsimiseen ja noutamiseen saattaa tuhraantua merkittävästi paljon aikaa, jos materiaalivirtauksen suunnittelu on heikkoa tai järjestystä ja työnvaiheiden toteutusta ei ole mietitty systemaattisen toiminnan kannalta. Virheiden ja susikappaleiden syynä on tiivistetysti heikko toiminnanlaatu, mutta ylituotanto mahdollistaa sen, että virheet jäävät huomaamatta tai ne huomataan liian myöhään, jotta niiden ehkäisemiseksi saataisiin välitöntä palautetta. (Ortiz, 2006. s. 29-32)

Hukan lajit ja niiden syyt voidaan yhdistää karkeasti eri tuotantotekijöiden mukaan kuten Moisio (2011) esityksessään Lean – työkaluja prosessin kehittämiseen on ilmaissut. Kuvassa 5 eri hukan lajit menevät ymmärrettävästi päällekkäin, sillä yksittäistä syysseuraus-suhdetta niille ei voida esittää. Selkeästi odottaminen ja tarpeeton liikkuminen ovat yhteydessä työntekijöiden toimiin, kun taas varastointi ja kuljetukset liittyvät lähemmin tuotteisiin ja niille tehtäviin toimiin. Prosessilla tarkoitetaan tässä varsinaista fyysistä prosessointia tuotannossa, sillä ylätasolla koko tuotantoprosessin toteutustapa on kaikkien hukan lajien aiheuttaja. Prosessi on muutenkin toiminnan keskiössä, ja siksi myös kuvassa 5 päällekkäin muiden osioiden kanssa, sillä prosessointi ja sen toteutus antaa monesti rajapinnat työntekijöiden toimille sekä tuotteiden käsittelylle prosessoinnin ulkopuolella.



KUVA 5. Eri hukan tyyppien liittyminen tuotantotekijöihin. (Moisio, 2011)

Useimmissa prosesseissa jalostavan työajan osuus läpäisyajasta on häviävän pieni. Perinteinen prosessin parantaminen keskittyy tietyn jalostavan osuuden toimien tehostamiseen, mikä johtaa osa-optimointiin, eikä mainittavasti paranna koko prosessin toimintaa. Lean-ajattelussa keskitytään koko prosessia vaivaavan hukan eliminoimiseen tasapuolisesti. Käytännössä yksiosaiseen virtaukseen pyritään sijoittamalla toisiaan seuraavat vaiheet lähemmäksi siirtomatkojen minimoimiseksi ja liikuttamalla vaiheesta toiseen enintään pienempiä tavaraeriä sen mukaan mikä asiakastarve kulloinkin on. Tämä saattaa kokonaisuutena tarkoittaa, kustannussyistä, yrityksen ulkopuolella toteutettujen työvaiheiden tekemistä omassa tuotannossa läpäisyajan lyhentämiseksi. (Liker, 2009. s. 29-32)

3.3.3 Yksiosainen virtaus ja imuohjaus

Toyotan tapa kyseenalaistaa perinteiden joukkotuotannon edut monella tavalla. Massatuotannon ja lean-tuotannon edut perustuvat hyvin erilaisiin tavoitteisiin ja lähtökohtiin. Massatuotanto keskittyy pieniin kappalekohtaisiin kustannuksiin ja koneiden korkean käyttöasteen ylläpitämiseen. Tämä johtaa helposti osaoptimointiin, jossa ei oteta huomioon riittävästi jalostavien työvaiheiden välissä tapahtuvia toimia. Lean-tuotannossa huomiota kiinnitetään paljon jalostavien vaiheiden välisiin toimintoihin helpottamalla tuotannon virtausta poistamalla hukkaa, kuten luvussa 3.3.1. kuvattiin. Tavoitteena on kokonaisuudessaan tehokas prosessi, joka tuottaa ainoastaan sen verran kuin asiakas kulloinkin tarvitsee. Yksiosaisen virtauksen tavoittelu on tärkeää sillä, vaikka sen päätaavoite on lyhentää läpäisyaikaa, niin samalla se ohjaa käyttämään myös muita lean-työkaluja eri hukan muotojen poistamiseksi. Tehottomuutta saadaan poistettua lisäämällä virtausta ja pitämällä materiaalit koko ajan liikkeessä, jolloin erilaiset turvapuskurit

poistuvat ja ongelmat paljastuvat kuin kivet laskevasta vedestä. Silloin on pakko ennakoita ongelmatilanteita, ratkaista ne välittömästi ja keskittyä toiminnan laadun parantamiseen. Tällä tavalla hektinen toiminta pitää työntekijät valppaina, ja pakottaa jatkuvasti parantamaan toimintaa. Todellisen yksiosaisen virtauksen luominen ei onnistu ongelmitta. Kaikki ongelmat olisi helppo piilottaa puskurivarastojen alle, mutta silloin syntyy helposti näennäinen virtaus. Toinen virhe on luopua koko kehitysprojektista pian ongelmien ilmaannuttua. (Liker, 2009)

Yksiosainen virtaus kannattaa pyrkiä toteuttamaan minimoimalla siirtomatka vaiheiden ja työpisteiden välillä esimerkiksi luomalla soluja, joiden läpi materiaali liikkuu. Umuotoisessa solussa yksi operaattori voi hoitaa useampaa työvaihetta, ja kapasiteettivaatimuksen kasvaessa operaattoreita voidaan lisätä. Yksiosainen virtaus ja varastojen poistaminen onnistuu vain, jos läpäisy aika saadaan lyhyeksi. Sen edellytys on pienet valmistussarjat, jonka edellytyksenä ovat *lyhyet asetusajat* toteutettaessa sekamuotoista *tasoitettua tuotantoa*. Ensin kannattaa keskittyä sijoittamaan työpisteet ja koneet lähelle toisiaan ja sen jälkeen miettiä materiaalinsiirtovälineitä. (Liker, 2009; Tuominen, 2010. s.80-81)

Liker (2009) esittää esimerkin, jossa valmistettava tuote koostuu kahdesta kokoonpantavasta moduulista ja testausvaiheesta. Mikäli materiaalinsiirrot toteutetaan kymmenen kappaleen erissä, ja työnvaihe yhtä yksikköä kohti kestää yhden aikayksikön, kestää 30 aikayksikköä ennen kuin ensimmäinen kymmenen kappaleen erä on valmis kuljetettavaksi, ja 21 aikayksikköä ennen kuin ensimmäinen tuoteyksilö on valmis. Jalostavan työn osuus oli ainoastaan kolme aikayksikköä yhtä tuotetta kohti. Keskenäisen tuotannon suuruus on 21 tuoteyksikköä. Yksiosaisessa virtauksessa tuotteet siirretään vaiheesta toiseen yksi kerrallaan, jolloin tuotannossa on yhtä aikaa vain kolme tuoteyksikköä, ja ensimmäinen uusi tuote valmistuu kolmessa aikayksikössä. Sen kuluttua tuotannosta tulee uusi tuote, joka aikayksikön jälkeen. (Liker, 2009. s. 92-93)

Toimiessaan yksiosainen virtaus selvästikin lyhentää läpäisyäikää poistamalla prosessointia odottavan keskenäisen tuotannon. Mikäli prosessin eri tuotantovaiheita hallitaan yrityksessä itse, on välivarastojen koko pikemminkin seurausta tuotannonohjaukseen ja toimintatapoihin liittyvistä seikoista, kuin useampien siirtojen aiheuttamien kuljetuskustannuksista. Useammin tapahtuvia pienten materiaalien siirtämisen aiheuttamia kustannuksia kompensoidaan muiden hukan muotojen poistumisella sekä joukko-tuotantoa joustavammalla toiminnalla. (Liker, 2009; Ortiz, 2006)

Yksiosainen virtaus toimii ohjauksellisesti tehokkaimmin, kun käytetään *visuaalista ohjausta*. Visuaalisen ohjauksen tulee edistää työn tekemistä tekemällä ohjaussignaaleista yksinkertaisia ja helppoja ymmärtää. Visuaalista ohjausta ovat erilaiset lattiamerkinnät materiaalivirroille ja niiden sijoituspaikoille tai materiaaliensiirtovälineiden kuten telineiden, laatikoiden ja lavojen käyttäminen viestivälineinä. Tähän aiheeseen palataan kanban-menetelmää käsittelevässä luvussa 3.3.4. Kehittyneemmässä visuaalisessa ohjauksessa voidaan työpisteillä hyödyntää erilaisia valoja indikoimaan työvaiheen tilaa. Näissä andon-sovelluksissa vihreä valo kuvaa normaalia toimintaa, keltainen ilmoittaa avun tarpeesta ja punainen viestiin ongelmista, jotka keskeyttävät toiminnan. Työ-

pisteiden toiminnan tila voidaan tarkistaa yhdellä vilkaisulla. Visuaalista ohjausta voidaan toteuttaa myös tilastoimalla tuotannon tapahtumia, kuten läpäisyäikää, virheiden määrää ja työtuntijakauman kehitystä, graafisesti ja taulukoituna kaikkien työntekijöiden päivittäin nähtäväksi. (Davis, 2011. s. 154-155; Peltonen, 1997. s. 35)

Yksiosainen virtaus on mahdollisuus, kun kysyntä ja asiakastarpeet vaihtelevat ennustamattomasti. Tällöin hukkan poistaminen tuotantojärjestelmästä aiheuttaa äärilaidasta toiseen vaihtelevaa ali- tai ylikuormitusta, ja synnyttää lopulta kaaoksen. Laadun tuottaminen, vakiointi ja jatkuva parantaminen eivät ole tällöin mahdollisia. Hukka on epätasaisuuden seurausta. Vaihtelun hallitseminen toteuttamalla *tasoitettua tuotantoa* eli heijunkaa on tuotannon tasoittamista volyymin ja tuotevalikoiman suhteen. Siinä ei valmisteta tarkalleen asiakkaiden vaatimassa järjestyksessä vaan tarkastellaan tietyn aikajakson tilauksia, jotka sitten järjestetään prosessin virtauksen ja asiakkaiden tilaus-ten kannalta tasapainoisesti. Tällöin asiakaskysynnästä ja tuotannon vaatimista osista muodostuu ennustettavia valmistussarjoja, eikä eri tuotteisiin käytettävien osien valmistamisessa synny kuormituspiikkejä. Tällä sekamallisella tasoitetulla tuotannolla voidaan kerätä asiakastilauksia järkevän kokoisiksi tuotantosarjoiksi, joita tasaamalla taataan että asiakkaat saavat joustavasti mitä haluavat, tasoitetaan laite- ja työntekijäresursseja, sekä mahdollistetaan edeltävälle vaiheille tasaisempi kysyntä. (Liker, 2009 s. 113-121)

Tasaus voidaan toteuttaa siten, että lyhyiden asetusten vaihtojen mahdollistamana valmistetaan entistä pienemmissä erissä vuoronperään enemmän ja vähemmän työtä tai muita resursseja vaativia tuotteita. Nopeaa asetusten vaihtoa edistääkseen mahdollisimman suuri osa asetuksista täytyy pyrkiä muuttamaan ulkoisiksi asetuksiksi, jotka voidaan tehdä samalla kun edellisen työn jalostava työvaihe on vielä kesken. (Liker, 2009 s. 113-121)

Asiakastilauksen vaihtelusta ja tuotantoprosessista sekä siihen liittyvistä katkoksista johtuen yksiosainen virtaus ei toteudu, vaan virtausta täytyy jaksottaa ja ohjata. Kun prosessin vaihtelu on hallinnassa voidaan työnvaiheiden välistä ohjausta toteuttaa parhaiten visuaalisella *imuohjauksella*, jolla ohjataan pieniä materiaalipuskureita sellaisten vaiheiden välillä missä yksiosainen virtaus ei toteudu. Imuohjausta on käsitelty jo luvussa 3.1.2.. Imuohjattu toiminto antaa signaalin edeltävälle toiminnolle tarvepohjaisesti. Toyota on kehittänyt imuohjauksen toteuttamiseen merkinantojärjestelmän, joka huolehtii imuohjauksen toiminnasta. Järjestelmä tunnetaan nimellä kanban.

3.3.4 Kanban tuotannon ohjauksessa ja varaston hallinnassa

Kanban tarkoittaa ohjauskorttia tai merkinantovälinettä. Työnvaiheet, joiden välillä käytetään puskurivarastoja, voidaan ohjata käyttämällä kanban-merkinantovälineitä. Kanban voi olla joko materiaalin siirtoväline, kuten laatikko tai hyllykkö tai ne voivat materiaalilavoihin kiinnitetyjä lappuja tai pelkkiä ohjauskortteja, joissa on esitettynä valmistusta varten tarpeellinen informaatio. Vaiheiden välillä voi liikkua useampia kanbaneita, mutta tällöin ne käsittävät kaikki yhtä suuren tuotemäärän. Kun tuotteet kulutetaan, jos- sain prosessivaiheessa palautetaan tyhjät kanbanit edeltävään vaiheeseen, joka siten saa signaalin alkaa valmistamaan vaadittua määrää lisää. Kanbanit ohjaavat valmistuksen

aikataulua, mutta samalla ne rajoittavat keskeneräisen tuotannon määrää, sillä valmistaminen ilman kanbanin avulla saatua signaalia on ylituotantoa. (Liker, 2009. s. 104-109)

Kanbaneilla hallitaan vaiheiden välisiä puskurivarastoja, mutta lean-oppien mukaisesti varastoista pitää pyrkiä eroon. Kun kierrossa olevien kanbanien määrää tai kanbanien sisältämää tuotteiden määrää vähennetään varastotasot laskevat ja ongelmat alkavat tulla esiin. Kanbanien avulla on siis mahdollista ohjata prosessia kehittymään. (Liker, 2009. s. 109-110)

Ideaalitilanteessa tuotannon virtaus on yksiosaista eli tuote alkaa valmistua vaihe toisensa jälkeen välittömästi yksi kappale kerrallaan ilman minkäänlaista odottelua tai muuta hukkaa. Todellisuudessa tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, vaan silloin vaiheesta toiseen siirretään mahdollisimman pieniä tavaraeriä käyttäen oikein mitoitettuja puskurivarastoja, jotka minimoivat odotteluun kuluvan ajan. (Liker, 2009)

3.3.5 Kaitzen – jatkuvan parantamisen menetelmä

Kaitzen on japania ja tarkoittaa vapaasti suomennettuna jatkuvaa parantamista, jonkin kohteen tarkastelua ja sen tekemistä entistä paremmin. Tavoitteena on arvovirran parantaminen ja hukan poistaminen pienin askelin. Jatkuvan parantamisen edellytyksenä asioiden tarkastelu uudesta näkökulmasta luopumalla jumiutuneesta ajattelutavasta liittyen siihen miten asioita tulee tehdä. Ratkaisuissa ei tarvitse tavoitella täydellisyyttä, vaan keskittyä pieniin parannuksiin, jotka ovat toteuttavissa minimaalisin kustannuksin. (Kaizen for shop floor, 2002. s. 2-16)

Eteen tuleviin ongelmiin tulee tarttua välittömästi, ja niiden ratkaisuja tulee hakea juurisyytä selvittämällä esimerkiksi käyttämällä viisi kertaa miksi –menetelmää. Tässä menetelmässä miksi-kysymysten esittäminen johtaa tapahtumasarjassa taaksepäin, jolloin on mahdollista löytää ongelman juurisyy, ja vain se korjaamalla estää saman ongelman toistuminen. Tällainen ongelmanratkaisuun keskittyvä kaizen on jatkuvaa parantamista yksinkertaisimmillaan. (Liker, 2009. s. 252-253)

Kaizenia voi toteuttaa myös tiiviimpinä kaizen-tapahtumina, jossa ryhmänä keskitytään, jonkin valitun kehittämiskohteen uudelleen ideointiin ja kehitystoimien käyttöönottoon. Näiden tapahtumien kesto ja osallistujien lukumäärä vaihtelee tarpeen mukaan. Tiiviin toiminnan kestot voivat olla muutamia päiviä tai pidempi, mutta seuranta-ajan kanssa koko prosessi kestää paljon kauemmin. Tavoitteena on tietenkin kertaluontoinen hieman suurempi ja tavoitteellisempi parannus, kuin päivittäisen jokaisen työntekijän velvollisuuksiin kuuluvassa jatkuvassa parantamisessa. Keskeistä kehitystoimissa on varata resursseja tapahtumien suunnitteluun, ideoiden kehittämiseen ja jalostamiseen sekä toimien toteuttamiseen. Kaizen-projektia ei kannata aloittaa, jos käytettävissä ei ole resursseja syntyvien ideoiden toteuttamiseen tai käytettävissä ei ole ihmisiä, joilla on riittävästi erilaisia näkemyksiä sekä valtaa tehdä päätöksiä. (Davis, 2011. s. 16-34)

3.3.6 5S – siisteyden ja järjestyksen ylläpitämiseksi

Ensivaikutelman voi saada aikaan vain kerran. Jos potentiaaliset asiakkaat tulevat tutustumaan tuotteisiin heitä kiinnostavat suuresti myös tilat, joissa tuotteita valmistetaan. Erillistä esittelytilaa on tarpeetonta pitää, kun tavoitteeksi otetaan tuotantotilojen esitellykelpoisuus. Epäjärjestyksessä olevat ja likaiset tuotantotilat antavat ulkopuoliselle käsityksen, että samanlainen suhtautuminen tekemiseen koskee kaikkia yrityksen toimintoja sekä tuotteita. (Ortiz, 2006. s. 33)

Kohtuullisen yksinkertainen viisi osa-aluetta käsittävä menetelmä työpaikan järjestyksen aikaansaamiseksi ja sen ylläpitämiseksi sekä sitä kautta hukan eliminoimiseksi on Japanilainen 5S:ksi kutsuttu menetelmä, jonka nimi pohjautuu viiteen japaninkieliseen s-kirjaimella alkavaan sanaan. Sitä ei tule pitää lean-tuotannon mahdollistavana mallina, sillä 5S on vain tukityökalu, jonka avulla saadaan tehtyä ongelmia näkyviksi, jotta niitä voidaan alkaa poistaa. Visuaalisenohjauksen toteutumiselle on suurta hyötyä 5S:ään kuuluvista toimista. (Liker, 2009. s. 150-152)

Menetelmä koostuu viidestä vaiheesta, jotka ovat myös esitettyinä kuvassa 6. Vaiheet ovat Likerin (2009) mukaan suomeksi ja japaniksi:

- Lajittele / seiri
- Järjestä / seiton
- Siivoa / seiso
- Vakioi / seiketsu
- Ylläpidä / shitsuke

Ensimmäinen vaihe, lajittele, tarkoittaa kaikkien työpisteellä olevien tarvikkeiden, työkalujen, dokumenttien ja kappaleiden tarkastelua tavoitteena hävittää kaikki tarpeettomat ja rikkinäiset välineet, merkata esimerkiksi punaisin lapuin kaikki harvoin käytettävät sekä jättää työpisteelle vain jatkuvasti käytössä olevat välineet. Punaisin lapuin merkityt tuotteet kerätään pois työpisteeltä ja sijoitetaan säilytykseen yhteen paikkaan, josta ne voidaan tarpeen tullessa käydä noutamassa. Tuotteille määritetään aika, esimerkiksi kaksi viikkoa, jonka kuluttua ne tuotteet, joita ei ole tarvittu siirretään kauemmaksi pois viemästä tuotantotilaa. Vastaavasti ne, joita on käytetty, sijoitetaan lähemmäksi työpistettä sen mukaan kuinka usein niitä tarvitaan. Tällä tavoin saadaan vapautettua tuotantotilaa tarpeettomien tavaroiden säilyttämiseltä sekä hukkaan menevää aikaa tarpeellisten tarvikkeiden etsimiseltä muiden joukosta. On hyvin yleistä, että työpisteille kertyy tarpeetonta tavaraa, kun ei osata arvioida kannattaako jotakin heittää pois. Lajitteluprosessin tuloksena tuotannon vaatimaa tilaa voidaan kutistaa jopa 30 %. (Scotchmer, 2008. s. 72-79; Ortiz, 2006. s. 33)

Kun työpisteillä on vain tarpeelliset tavarat, ne tulee järjestää tuotantoprosessin virtauksen kannalta järkevästi käyttämällä apuna esimerkiksi työpistekohtaisia virtauskaavioita. Seuraamalla työnteon etenemistä ja piirtämällä liikkeitä työpistettä kuvaavaan kaavioon on helppo nähdä lopuksi liikkumisen määrä ja liikkeiden risteäminen. Järjestyksen ja merkintöjen tulee tukea visuaalista ohjausta. Isoimpien koneiden ja laitteiden järjestämisen lisäksi myös työpisteen työkalut, materiaalin siirron apuvälineet ja virtaavan materi-

aalin paikat tulee järjestää ja merkitä visuaalisesti havaittavaksi. Työkalukaapeissa ja hyllyissä välineiden paikat voidaan osoittaa käyttämällä järjestyksessä olevasta kaapista otettua valokuvaa, joka on kiinnitetty esimerkiksi kaapin oveen tai jäljentämällä työkalun ääriviivat osoittamaan työkalun paikkaa telineessä. Säännöksi välineiden löytymiselle voidaan ottaa 30 s aikaraja. Työpisteet, saapuvan ja lähtevän materiaalin paikat sekä apulaitteiden paikat voidaan merkitä rajaamalla alueet lattiaan. Eri toiminnoille voidaan käyttää eri värejä kuvaamaan toimintoja, kun alueet reunat rajataan teippaamalla tai maalaamalla. Tällä tavoin yhdellä silmäyksellä on nähtävissä onko työpiste järjestyksessä. Samalla virheiden havaitseminen tulee helpommaksi. Lavapaikkojen määrittäminen lattiamerkinnöin on myös askel kohti imupohjausta ohjausta. Järjestämällä voidaan poistaa turhien liikkeiden ja etsimisen aiheuttamaa hukkaa. Käytävien merkitseminen erottaa kulkureitit varastointialueista ja siten edistää turvallisuutta. (Scotchmer, 2008. s. 81-93; Ortiz, 2006. s. 34-35; Moisio, 2011))

Siivoaminen käsittää työpisteiden pitämisen puhtaana liasta, pölystä, rasvoista ja muista roskista, ja tämä vaihe voidaan aloittaa edellisten ollessa vielä meneillään. Siivoamisen tulee kuulua rutiininomaisiin toimenpiteisiin, ja sille tulee varata aikaa, mieluiten päivittäin. Myös koneiden ja laitteiden pitäminen toimintakunnossa kuuluu tähän kategoriaan, sillä alkavat viat tai vuodot havaitaan helpommin, kun koneet ovat puhtaita. Siivoamisella on selkeä vaikutus työntekijöiden työmotivaatioon sekä turvallisuuteen ja vierailevien asiakkaiden käsitykseen yrityksen toiminnasta. (Scotchmer, 2008. s. 95-103; Ortiz, 2006. s. 36-37; Moisio, 2011)

Kun kolme ensimmäistä enimmäkseen konkreettista vaihetta on toteutettuna, on aika alkaa vakiinnuttaa toimintatapoja vakioimalla. Ihmisillä on taipumus palata totuttuihin tapoihin ilman selkeää ohjausta ja seurantaa, ja siksi esimiestason tulee huolehtia vakiinnuttamisesta ja standardien ylläpitämisestä. Tämä 5S vaihe koskee siis organisaation kulttuurisen muutoksen tukemista. Tarkoitus ei ole kuitenkaan luoda muuttumattomia ohjeita, vaan pyrkiä jatkuvasti päivittämään toimintatapoja sekä ohjeita entistä parempia havaittaessa. Vakiointi helpottaa myös uusien työntekijöiden perehdyttämistä. (Scotchmer, 2008. s. 105-111)

Käyttöön otettujen uusien toimintatapojen toteuttamista tulee seurata ja arvioida, jotta vanhat tavat eivät palaisi takaisin ja toimintaa voitaisiin edelleen kehittää. Vakiointi mahdollistaa pohjan, jota vasten viikoittain toteutettavaa seurantaa voidaan tehdä. Seurannalla osoitetaan ylemmän tason sitoutuminen 5S:n mukaiseen toimintaan, mielellään siten että myös johto osallistuu seurannan toteuttamiseen. Seurantalomakkeessa jokainen työpiste tarkastetaan ja arvioidaan määritettyjen kohtien mukaisesti. Tuloksia ja niiden trendejä seurataan, ja siten pyritään edesauttamaan jatkuvaa parantamista. Tulokset tulee myös tuoda selkeästi niitä koskevien työntekijöiden nähtäville. (Scotchmer, 2008. s. 121-125; Ortiz, 2006. s. 37-39)

Kuten muutkin lean-tuotantoon liittyvät työkalut myös 5S-kehitystyön toteuttaminen edellyttää kokonaisuuteen liittyvien tavoitteiden ymmärtämistä ja sitoutumista suoritettaviin toimiin. Kehitysprojektille tulee varata riittävästi aikaa sekä resursseja sen toteuttamiseen sekä seurantaan. Tärkeää on, että kohteena olevat työntekijät otetaan mukaan

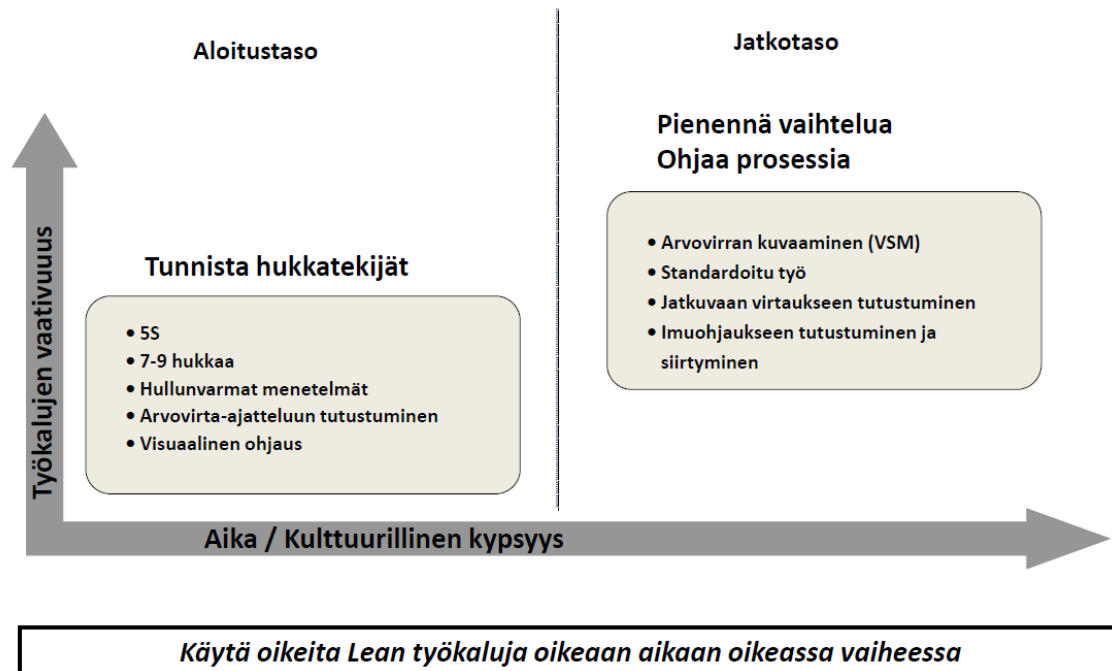
ja heille tiedotetaan eri vaiheiden etenemisestä ja saavutetuista tuloksista. Menetelmä painottaa paljon visuaalisuutta, ja siksi esimerkiksi valokuvien perustuva dokumentointi on hyvä keino toteuttaa etenemisen seuranta. Valokuvia voi siten käyttää myös esimerkkeinä tavoitetilasta. Muita mittareita ovat luonnollisesti eri hukkalajien määrät ja niiden trendit. (Moisio, 2011)



KUVA 6. 5S toimintamalli englanninkielisten ilmaisujen kera. (mukaillen, Moisio, 2011)

Lean-tuotantojärjestelmän luomiseksi on olemassa useita Toyotan tapaan perustuvia menetelmiä ja työkaluja. Kaikki ne ovat kuitenkin Toyotan ideologian mukaisesti mahdollisimman yksinkertaisia, selkeitä ja visuaalisuutta tukevia. Kehitystoimet eivät vaadi merkittävää numeerista seuranta ja tulosten analyysia kuten tilastotieteeseen pohjautuva Six Sigma –ajattelu. Lean-työkaluja on kuitenkin eritasoisia tarkasteltaessa työkalujen vaativuutta tai niiden käyttöön saattamisen edellyttämää aikajännettä, kuten kuva 7 esittää. Aika ja sitoutuminen ovat keskeisimpiä välineitä lean-tuotantotavan omaksumisessa, sillä kysymys on lopulta koko organisaatiota koskevasta toimintakulttuurin muutoksesta. (Liker, 2009)

Lean työkalut



KUVA 7. Oikea lean-työkalu oikeaan aikaan. (Moisio, 2011)

Lean-perustaiset tuotannonkehitystoimet keskittyvät hukan poistamiseen ja arvoa lisäävän työn kehittämiseen. Menetelmät pyrkivät aleneviin tuotantokustannuksiin, ja sitä kautta voittomarginaalin kasvamiseen, kun vähemmästä saadaan enemmän pienemmin panoksin ja entistä nopeammin. (Moisio, 2011)

3.4 Työmenetelmien suunnittelu

Tehokkaat työmenetelmät parantavat tuottavuutta. Viimekädessä yksittäisten työvaiheiden tehokkuus ratkaisee yrityksen kokonaistuottavuuden, ja siksi näiden menetelmien käsittämiseen kannattaa panostaa. Useimpien työvaiheiden, mutta etenkin tuotannon työvaiheiden työmenetelmien suunnitteluun voidaan parhaiten vaikuttaa tuotteen suunnittelun yhteydessä. Tällöin tuotteen suunnittelussa voidaan ottaa huomioon käytettävissä olevat työmenetelmät ja työmenetelmien kehittämistä voidaan tehdä ennen tuotteen siirtymistä tuotantoon. (Haverila et. al. 2005. s. 488-489)

Työmenetelmien suunnittelu voi koskea yhtä työvaihetta tai laajempaa kokonaisuutta. Laajuuden kasvaessa työmenetelmäsuunnittelu lähestyy tuotantojärjestelmän suunnittelua. Seuraavat valmistuksen suunnittelutehtävät liittyvät Haverilan et. al. (2005. s.489) mukaan läheisesti työmenetelmä suunnitteluun:

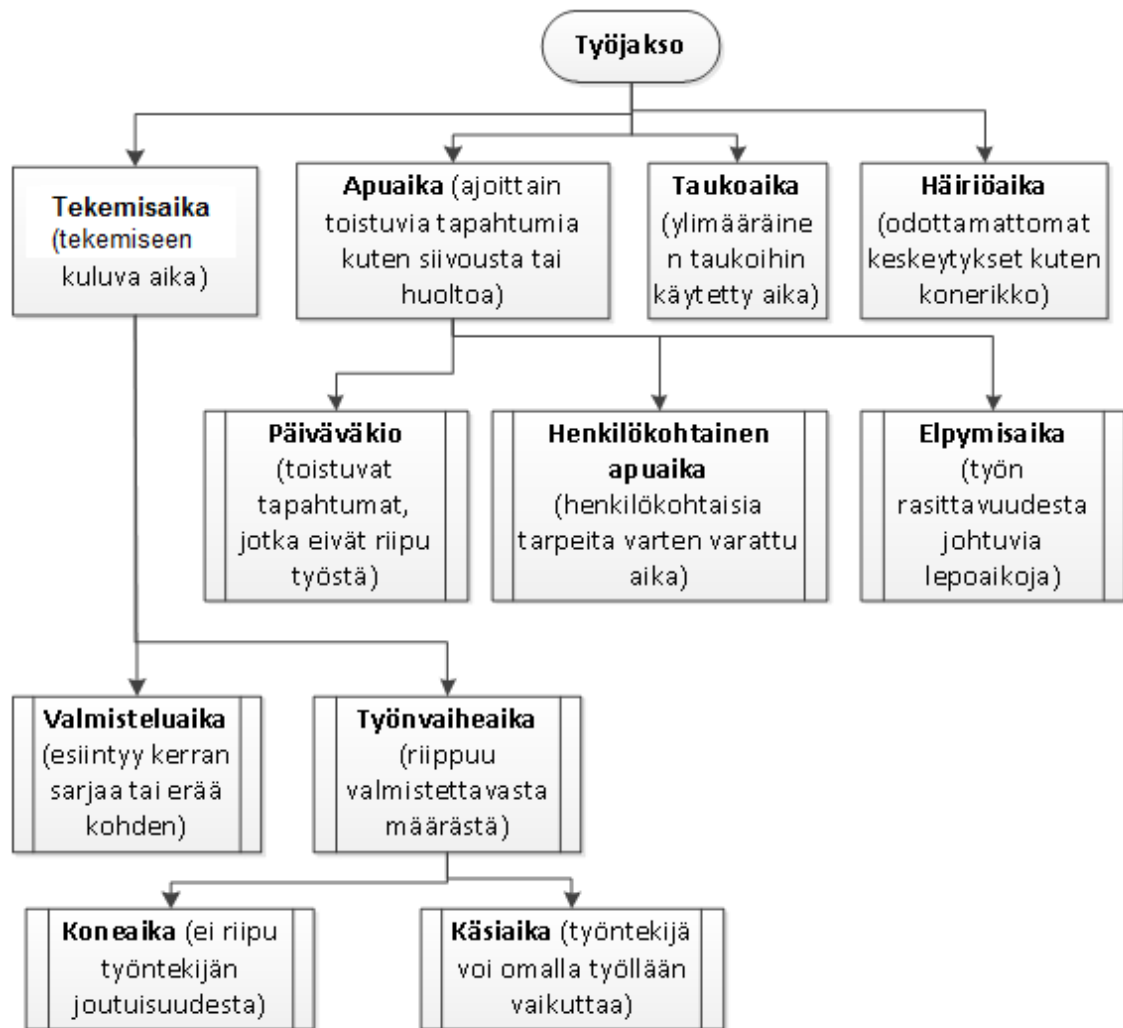
- valmistusjärjestelmän keskinäisten vaiheiden suunnittelu yrityksen tuotantojärjestelmälle sopivaksi
- työtavan ja työympäristön suunnittelu
- laitteiden tehokkaan käyttötavan suunnittelu

- työtiimien sisäisen tehokkuuden parantaminen ohjausperiaatteita ja tavoitteita uudelleen suunnittelemalla
- tuotantovälineiden hankinnan ja valinnan suunnittelu.
- kustannustehokkaiden työvälineiden ja työkalujen suunnittelu

Kun toimintatavoista on enemmän tietoa ja kehitystyö on määrätietoista, on laadun ja tehokkuuden parantamiselle hyvät edellytykset. Työntutkimuksella pyritään kehittämään työn tuottavuutta etsimällä parhaita menettelytapoja ihmisten, materiaalien ja tuotantovälineiden yhteistoiminnan järjestämiseksi. Tutkimuksen tavoitteita ovat tavoitteesta riippuen ajankäytön tehostaminen, työnkulun tehostaminen, työvaiheiden tehostaminen ja työliikkeiden tehostaminen. Työntutkimusta voidaan toteuttaa ajankäyttötutkimuksena tai työnmittauksena. (Haverila. 2005. s. 490-491)

Ajankäyttötutkimuksella jaotellaan työaika tehokkaaseen työaikaan ja erilaisiin aikahäviöihin. Häviöistä saadaan selville myös niiden aiheuttaja, jos menetelmänä käytetään ajankäyttötutkimusta, jossa työsuoritusta seurataan koko ajan. Eri aikalajit erotellaan käyttämällä sekuntikelloa sekä merkitsemällä tulokset minuutteina aikalajeittain esittäytettyyn taulukkoon, josta voidaan myöhemmin laskea työnvaiheiden keskiarvoja sekä erotella arvo lisäävä ja sitä lisäämätön aika.. Vastaavasti havaintotutkimuksessa kirjataan ylös meneillään oleva tapahtuma ja sen aikalaji satunnaisesti tai tasavälein toistuvana. Eri aikalajien jakauma määritellään sen jälkeen tilastollisesti. Jatkuva ajankäyttötutkimus on paljon työläämpi, mutta antaa välittömästi tarkat tulokset kyseisestä työstä. Keskeistä tulosten käyttökelpoisuuden kannalta on saada tarkkaa ja oikein kerättyä tietoa. Työntekijä tekee samat tehtävät eri kerroilla hieman poikkeavasti, johtuen esimerkiksi erilaisista häiriöistä, joten ajankäyttötutkimuksessa tulee seurata useampaa kuin yhtä tai kahta suorituskertaa vaihtelun selvittämiseksi. Aikalajien jakautuminen on nähtävissä kuvasta 8. (Haverila et. al. 2000. s.491-492; Ortiz, 2006. s.63-65)

Työnmittauksella tarkoitetaan tuoteyksikköä kohden tehdyn työn määrän tutkimista. Työmäärä arvioidaan harjaantuneen työntekijän normaalioloissa vakiomenetelmillä tekemän työn pohjalta. Tuloksia käytetään työmenetelmien vertailussa, tuotteiden hinnoittelussa, kuormitussuunnittelussa, palkkauksen perustana, sekä valmistusmenetelmien käsittämässä. Menetelmiä työnmittaukselle ovat kelloaikatutkimus, havainnointitutkimus, haastattelut, vertailut tunnettuun vastaavaan työhön, aikalaskelmat automaattikoneiden työkierröistä ja laskelmat, jotka perustuvat pienille työnosille määriteltuihin yleispäteviin aikoihin ja niiden yhteenlaskuun. (Haverila et. al. 2000. s.492-493)



KUVA 8. Työjakson jakautuminen eri aikalajeihin (mukaillen, Haverila et. al. 2005. s.491)

Kapasiteettitarpeen kasvaessa ja tuotantotilojen käydessä pieneksi ei ratkaisu välttämättä ole lisätilan rakentaminen. Layout-muutoksetkaan eivät välttämättä yksin riitä lyhentämään läpäisyäikää ja tasaamaan työkuormaa. Ratkaisu olisi toimiminen kahdessa vuorossa yhden sijaan. Kolmannen vuoron käyttämisestä ei saada yhtä suurta etua, sillä laitteiden huollolle ja ylläpidollekin tulee jäädä aikaa. Kaikkein epäsuotuisin on tilanne, jossa eri osastot toimivat eri vuorojärjestelmässä. Esimerkiksi, jos edeltävän työvaiheen toteuttava osasto toimii yhdessä vuorossa ja seuraava vaihe kahdessa vuorossa, täytyy edeltävän vaiheen saada aikaan työvuoron tarpeen yli riittävä puskurivarasto. Tällaisen KET:iä kasvattavan puskuroinnin poistamiseksi kaikkien tuotantovaiheiden tulisi toimia samassa vuorojärjestelmässä. (Harmon. 1990 s.65-68)

4 LAYOUT-SUUNNITTELU TOISTUVASSA TOIMITUSPROJEKTITUOTANNOSSA

Layout-suunnittelulla on hyvin usein strateginen vaikutus koko yrityksen toimintaan, ja erityisesti tuotannolliseen toimintaan, sillä suunniteltaessa uusia toimitiloja tai vanhojen tilojen uudelleen järjestelyä tehdään päätöksiä, joita on työläs muuttaa. Lähes aina layout-suunnitteluun liittyy tarpeita sitoa suuria määriä pääomaa uuden rakentamiseen tai vanhan muuttamiseen, ja siksi ratkaisujen tulee ottaa huomioon pitkän aikavälin näkymät ja suunnitelmat sekä organisaation tavoitteet. (Stevenson, 2009. s. 237 ja s. 249; Weng, 1999)

4.1 Layout-suunnittelun strateginen näkökulma

Layout-suunnittelu liittyy pitkälti kapasiteetin suunnitteluun riippumatta siitä onko kyse pelkästään uuden kapasiteetin rakentamisesta vai olemassa olevien tilojen ja ratkaisujen uudelleensuunnittelusta. Käytettävyytlaskelmat osoittavat kapasiteetin käyttöasteen ja ohjaavat kapasiteettisuunnittelua. Keskeisintä kapasiteetin parantamisessa on keskittyä pullokaulavaiheisiin, eli työnvaiheisiin, tiloihin ja prosesseihin, jotka ovat muuta toimintaa hitaampia tai tehottomampia ja siksi jatkuvasti ylikuormitettuja. Pullokaulat poistamalla voidaan saada koko prosessin maksimikapasiteetti teoreettisesti käyttöön, ja vasta sen jälkeen keskittyä kokonaisuuden tehostamiseen. (Krajewski & Ritzman. 2005. s. 246-250)

Suunniteltaessa muutoksia kapasiteettiin voidaan strategiseksi lähtökohdaksi ottaa joko laajentumisstrategia tai odottava strategia. Jos tuotannon kasvun odotetaan noudattavan jatkuvaa käyrää, jossa on jyrkempiä ja loivempia osuuksia, niin vastaavasti kapasiteetin muutokset tapahtuvat hypähdyksittäin, etenkin jos kyseessä on isompi inventointi kuten konehankinta, tuotantotilojen hankinta tai laajennus. Laajentumisstrategiassa kapasiteettia, kuten tuotantotilaa, laajennetaan nykyiseen kapasiteettitarpeeseen nähden runsaasti, jolloin käyttämätöntä kapasiteettia aletaan hyödyntää sitä mukaan kun tuotanto kasvaa, kunnes ollaan tilanteessa jossa kaikki kapasiteetti on käytössä ja on tehtävä uusi laajennus. Odotusstrategiassa kapasiteetin lisäykset tehdään pienemmissä erissä ja silloinkin vasta kun tarve ylittää käytettävissä olevan kapasiteetin. Laajentumisstrategiassa syntyy kapasiteetin tyhjäkäyntiä, mutta odotusstrategiassa kapasiteettivajetta, joka johtaa ylitöihin tai menetettyihin tilauksiin. (Krajewski & Ritzman. 2005. s. 254-255)

Laajentumisstrategia sopii kasvuyrityksille, joilla on selkeitä odotuksia markkinoiden kasvamisesta. Tätä strategiaa tukee myös ajatus suuruuden ekonomiasta, nopeammasta

oppimisesta ja tehokkaammasta toiminnasta jotka laskevat yksikkökustannuksia. Tämä strategia myös luo yrityksestä tietynlaista positiivista kuvaa markkinoilla ja aiheuttaa paineita kilpailijoille. Laajentumisstrategialle vastaisesti odotusstrategiassa panostukset keskittyvät olemassa olevan tuotantolaitteiston ylläpitoon ja kehittämiseen pienin lisäyksin ja siten myös pienemmällä riskillä ylioptimistisia ennusteita ajatellen. Odotusstrategiassa ongelmakohtiksi voidaan mainita keskittyminen lyhyemmän tähtäimen suunnitteluun ja liika varovaisuus, jolloin kasvuhakuiset kilpailijat saattavat päästä edelle. (Krajewski & Ritzman. 2005. s. 254-255)

4.2 Layout-suunnittelu

Layout-suunnittelu tarkoittaa tuotantolaitteiden- ja solujen, varastopaikkojen, kulkuväylien sekä ovien sijoittelua tuotantotiloihin. Layout-suunnittelun vaikutukset tuotannonohjaukseen ja kustannustehokkuuteen ovat siinä määrin merkittäviä että layout-suunnitteluun on syytä sisällyttää tehtaan koko prosessin tarkastelu. Layoutit voidaan jaotella tuotantoprosessin ja laitesijoittelun perusteella kolmeen eri päätyyppiin: tuotantolinjalayoutiin, funktionaaliseen layoutiin ja solulayoutiin. (Haverila et. al. 2005. s. 475)

Mikäli layout-suunnitteluun liittyy laajentumista tulee kapasiteettisuunnittelun avulla tulee huomioon otettavaksi myös suuruuden tuomat edut ja haitat. Isompien yksiköiden kautta on saavutettavissa kiinteiden yksikkökustannusten pieneneminen kun ylläpidon hallinnon kustannukset eivät kasva samassa suhteessa. Rakennuskustannukset eivät myöskään kasva lineaarisesti, joten isomman yksikön rakentaminen kerralla tulee edullisemmaksi kuin vaiheittainen laajentaminen. Laajempi toiminta mahdollistaa myös suuremmat hankintaerät jolloin ostojen kustannuksia on mahdollista saada laskemaan. Suuruuden mukanaan tuomia ongelmia saattavat olla hallinnon kankeus ja tuotannon joustavuuden kärsiminen toimittaessa isoissa yksiköissä. Toiminnan luonteesta riippuen liian suureksi kasvaminen aiheuttaa yksikkökustannusten nousua; tuotantotoiminnassa menetetään joustavuutta sekä uudistumisessa ketteryyttä. (Krajewski & Ritzman. 2005. s. 252-253)

Layoutsuunnittelun perimmäisenä tavoitteena on saada materiaali virtaamaan tuotannon läpi tehokkaasti. Muut layoutsuunnittelun tavoitteet tukeutuvat tai pohjautuvat materiaalin tehokkaaseen virtaukseen. Stevensonin (2009, s.250), Haverilan (2005, s.482) ja Wengin (1999, s. 2) mukaan muita hyviä tavoitteita virtauksen lisäksi ovat:

- minimoitu tai eliminoitu materiaalien siirto- ja käsittelytarve koko tuotannossa
- parantunut laatu ja tehokkuus sekä läpäisy aika
- helpommin toteutettava sisäinen viestintä
- tilankäytön tehokkuus
- turvallinen ja viihtyisä työympäristö
- helppo muunneltavuus
- erityistarpeiden tai osaamisen huomioon ottaminen valmistusvaiheissa.

Krajewski & Ritzman (2005 s. 300-305) korostavat layout-suunnittelussa työntekijöiden turvallisuuden huomioon ottamista ja hyvän työilmapiirin luomista, joskin heidän näkökulmansa on painottunut vähittäiskauppaan enemmän kuin teolliseen tuotantoon. Lisäksi he mainitsevat investointikustannukset keskeisenä tekijänä layout-suunnittelussa.

Suunnitteluvaiheessa erityisesti kiinteiden rakenteiden, isojen koneiden ja varastorakennelmien sijoittaminen on harkittava huolella ajatellen tarpeita muuttaa layoutia joustavasti myös myöhemmin. (Haverila et. al. 2005. s. 482)

Fyysiset rajoitteet, suunniteltiinpa layoutia olemassa oleviin tai uusiin tiloihin, estävät täysin ideaalisen layoutin luomisen. Näitä fyysisiä rajoitteita ovat mm. kantavat seinät ja pilarit, kiinteät ja perustetut laitteet joiden siirtäminen tulisi kustannuksiltaan kannattamattomaksi, vapaa huonekorkeus, siltanosturien liikealueet, lattioiden kantavuudet ja lattiatasojen korkeudet. Uusia tiloja suunniteltaessa nämä rajoitteet on helpompi ottaa huomioon, mutta niistä ei pääse kokonaan eroon, etenkin jos uusia rakennuksia on tarkoitus liittää osaksi jo olemassa olevaa rakennuskantaa. (Harmon. 1990. s.40-42)

Stevenson (2009. s.270) tarkentaa edellistä listausta mainitsemalla rajoitteiksi sisäänkäynnit, lastauslaiturit, hissit, ikkunat, melutasot, turvallisuuden ja sosiaalityötilojen koon.

Fyysisten rajoitteiden lisäksi erilaiset yhteyssuhteet eri toimintojen välillä antavat reunaehdoja suunnittelulle. Reunaehdoja Stevensonin (2009. s. 270-273) ja Haverilan et. al. (2005. s. 480-481) mukaan asettavat:

- tuotannon laajuus ja valmistettavien tuotteiden rakenne
- eri työvaiheiden väliset riippuvuussuhteet
- kuljetusmatkat suhteessa liikutettaviin tavaramääriin
- käytettävissä olevat tuotantolaitteet ja niiden vaatimat tilat sekä mahdolliset uushankinnat
- layoutmuutoksiin investoitavissa oleva pääoma ja tuotannon aikajänne
- tukitoimintojen kuten jätteiden käsittelyn, huolto-osaston ja LVISA (Lämpö, Vesi, Ilmastointi, Sähkö, Automaatio) liityntöjen tarpeet

Enemmän työtä työvaiheessa täytyy tehdä rinnakkain ja vähemmän peräkkäin, samalla voidaan minimoida myös muiden rajapintojen määrä. Tämä ohjaa kokoonpanoa tapahtumaan yhdessä paikassa edellytyksenä, että tarvittavat osat ovat ottoetäisyydellä. Paikassa tapahtuvaa työtä on helpompi valoa visuaalisesti ja kapasiteettia on mahdollisuus lisätä joustavasti lisäämällä paikkoja sekä henkilöresurssia. Mikäli tuotteita ei saada ottoetäisyydelle, käytettävät työkalut edellyttävät peräkkäisyyttä tai ovat kooltaan suuria, ja mikäli volyymit sitä edellyttävät, on seuraava vaihtoehto valmistaa tuotteita linjassa. (Lapinleimu. 2000. s.129)

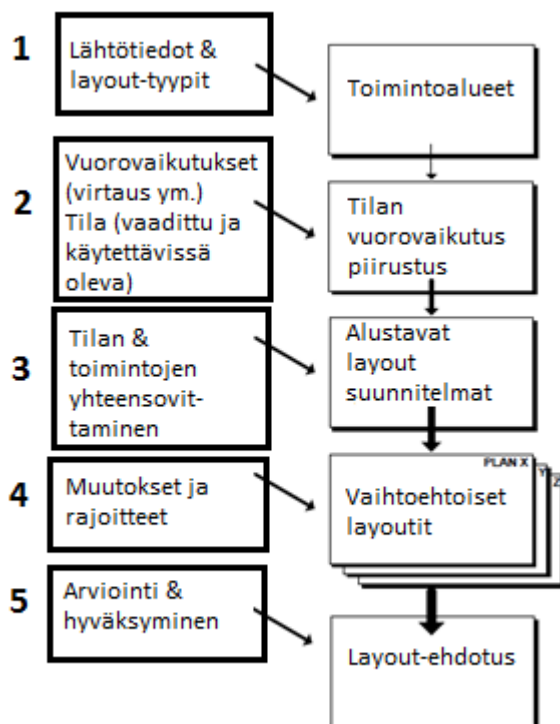
Tuoterakenne vaikuttaa kokoonpanotapaan. Esimerkiksi moduulirakenteinen tuote mahdollistaa kokoonpanon toteuttamisen eri vaiheissa, eli tuoterakenne tukee kokoonpanojärjestelmää tai kokoonpanojärjestelmä mukautuu tuoterakenteen mukaiseksi. (Lapinleimu. 2000. s.190)

Ratkaisunhakumenetelminä layoutsuunnittelussa voidaan yleisesti käyttää yhteyssuhdepiirroksia ja hyötyarvomatriiseja. Kuljetuskustannuksia ja matkoja voidaan optimoida

laskemalla siirrettävien materiaalmäärien ja niistä aiheutuvien kustannuksien suhteita. (Stevenson. 2009. s. 273-274; Haverila et. al. 2005. s. 481)

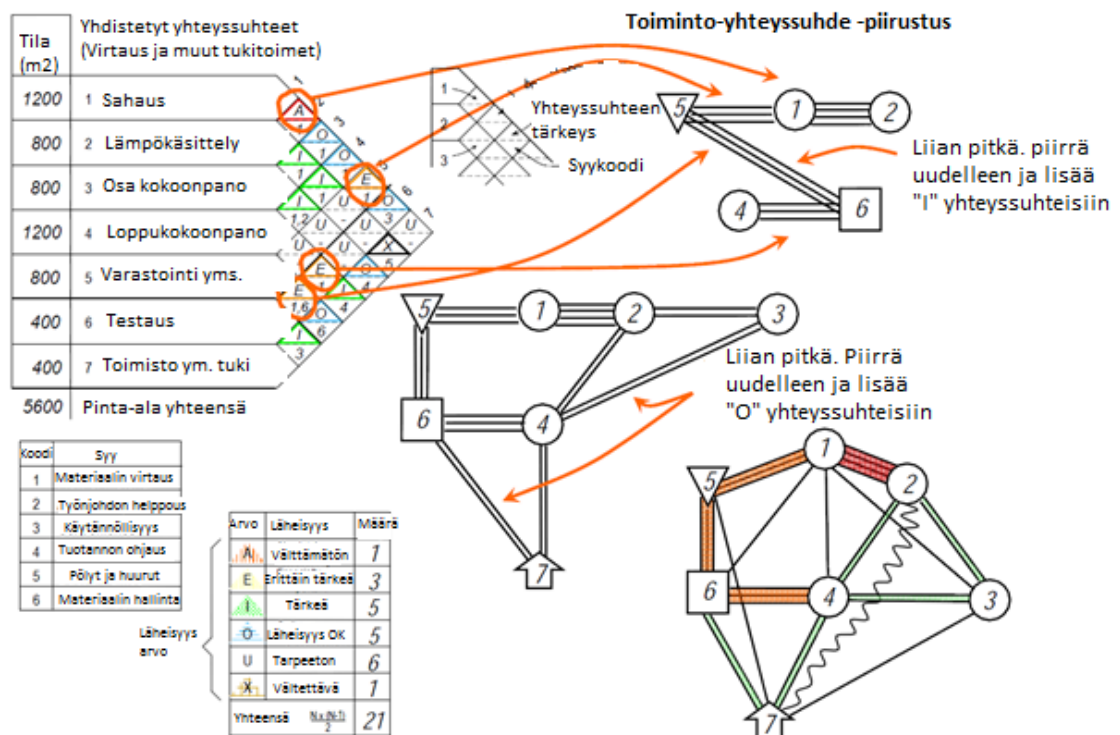
Layoutsuunnittelu voi tukeutua tarkkoihin matemaattisiin laskelmiin, heuristisiin sääntöihin ja päätelmiin, todennäköisyyksien laskentaan ja graafisiin menetelmiin. Lähtökohta voi olla uuden suunnittelu ns. tyhjälle paperille tai vanhan layoutin parantaminen. Näiden lähtökohtien pohjalta on kehitetty useita menetelmiä, joista Richard Mutherin (Wengin, 1999 mukaan) systemaattisen layout suunnittelun (SLP eli Systematic Layout Planning) menetelmä on yksi laajasti opetettu, sillä se on helposti sovellettavissa mitä erilaisimpiin tarkoituksiin. (Weng, 1999 s. 3-10)

Mutherin kehittämä SLP -menetelmä käsittää kolme keskeistä vaihetta, jotka ovat työnosien yhteyssuhteiden määrittely, työnosien tilavaatimusten määrittely ja muodostuneiden rajoitteiden mukaan toteutettu laitteiden, tilojen ja toimintojen yhteensovittaminen. Tätä määrittelyä voidaan toteuttaa ensin yltäasolla esim. määriteltäessä koko tehtaan layoutia ja osastojen sijaintia, jonka jälkeen samaa prosessia uudelleen käyttäen voidaan osastojen sisäisten layouttien suunnittelussa määrittämään materiaalivirtoja sekä työpisteiden ja laitteiden sijainteja. Mutherin kokonaisprosessi on esitetty kuvassa 9, josta selviää myös työnvaiheiden eteneminen. Triviaalien suunnittelun lähtötietojen, kuten tuotteiden ja tuotemäärien sekä tuotantomenetelmien lisäksi keskeisiksi mainitaan myös pääprosessin vaatimat tukitoiminnot sekä tuotannon mahdollinen suunniteltu toteutusajankohta ja tuotannon aikajänne eli kuinka pitkään tuotantoa on suunniteltu toteutettavan sellaisenaan. (Richard Muther & Associates, 2005)



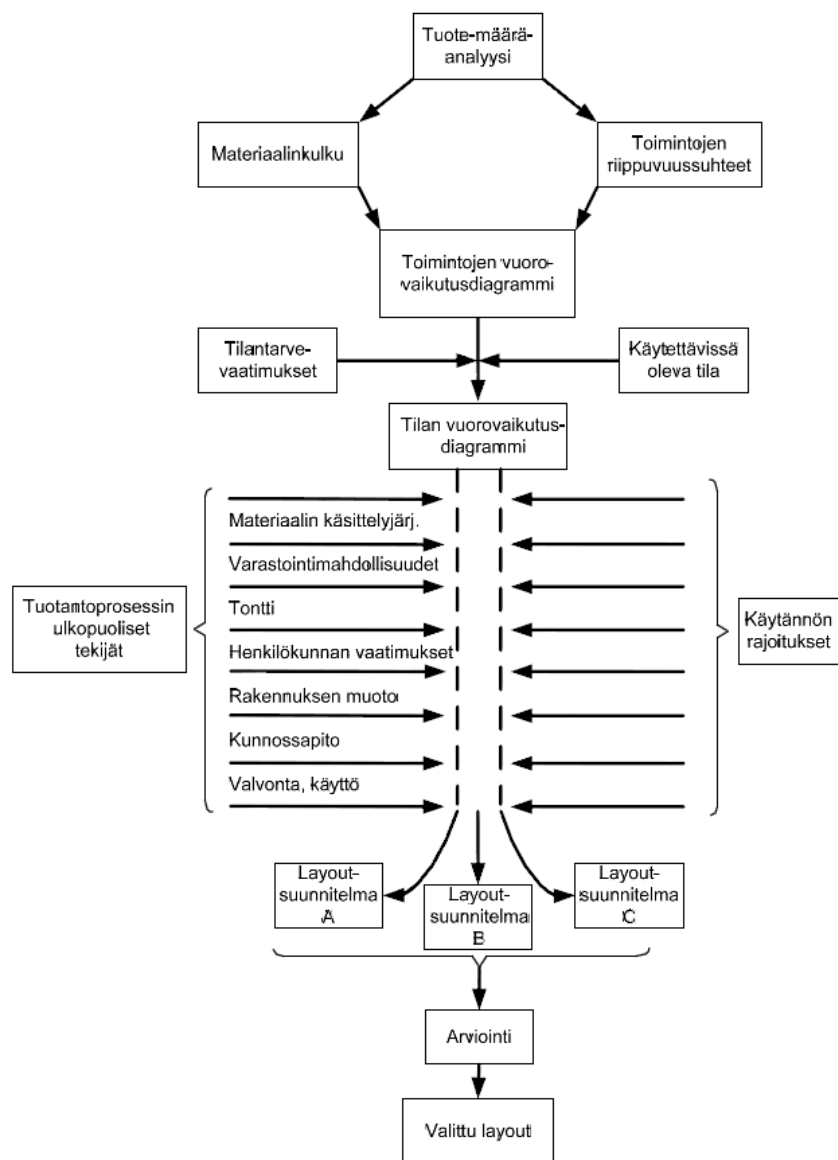
KUVA 9. Richard Mutherin systemaattisen layoutsuunnittelun kulku (mukaillen Richard Muther & Associates, 2005)

Kun edellä mainitut suunnittelun lähtötiedot on kerätty, aloitetaan SPL määrittelemällä jalostusprosessin työvaiheiden väliset suhteet matriisimuodossa siten, että tuloksesta nähdään vaiheiden välisen yhteyden kriittisyys sekä keskeisin syy. Tulosten pohjalta piirretään yhteyssuhdepiirros kuten kuvassa 10. Vaiheiden sijoittumista piirroksessa korjataan siten että päästään tilanteeseen, jossa vahvan yhteyden vaiheet ovat lähellä toisiaan. Kun toimintojen vuorovaikutukset on esitetty piirroksena, sovitetaan siihen tilavaatimukset kuvaamaan eri vaiheita vaatimaa tilaa. Tilavaatimus esitetään vaiheiden suhteellista kokoa kuvaavina laatikkoina. Saatu piirros on ensimmäinen karkea layout. (Richard Muther & Associates, 2005)



KUVA 10. Systemaattisen layoutsuunnittelun yhteyssuhdepiirros. (mukaillen Richard Muther & Associates, 2005)

Ennen eri layout-ehdotusten tekemistä täytyy vielä ottaa huomioon käytännön rajoitteet sekä tuotantoprosessin ulkopuoliset tekijät, joita on mainittuna kuvassa 11. Layout-ehdotukset voidaan arvioida hyötyarvomatriisissa listaamalla toiminnot tai työvaiheet ja antamalla niille arvosanoja eri layoutehdotuksissa. Toiminnoille voidaan antaa lisäksi painoarvot niiden tärkeyden perusteella. Lopuksi pisteet lasketaan yhteen, jotta suunnitelmia voidaan verrata kokonaisuutena. (Haverila et. al. 2005 s. 481)



KUVA 11. Mutherin systemaattisen layoutsuunnittelun malli (Muther 1968; Harju et al. 1987 .s105)

Harmon (1990 s. 42) esittelee esimerkin, jossa vanhoihin tiloihin tehtiin layout-suunnittelua, jonka tuloksena tarvittava lattiapinta-ala väheni lähes puolella, vaikka ulkona varastoituja tuotteita alettiin varastoida sisällä. Vapaaksi jäävä lattiapinta-ala kannattaa pyrkiä saamaan yhtenäiseksi erilliseksi alueeksi, joka on helppoa hyödyntää esim. toimistotiloina tai vuokrata ulkopuolisille. Tämä yhtenäinen vapaa lattiapinta-ala mahdollistaa myös uusien tuotantosolujen perustamisen ilman että jo olemassa oleviin tuotantolinjoihin tai -soluihin tarvitsee tehdä isoja muutoksia. (Harmon. 1990. s.42-59)

Käytävät ovat välttämättömiä, mutta vaativat suhteellisen paljon lattiapinta-alaa. Käytävien sijoittamiseen ja suunnitteluun liittyy muutamia perusohjeita ja havaintoja, jotka kannattaa ottaa huomioon tehokkaan ja järkevän materiaalivirtauksen aikaansaamiseksi. Käytävien tulisi palvella tuotantoa molemmiin puolin käytävää, joten käytävän sijoitta-

mista seinän viereen tulisi ehdottomasti välttää. Tuotantotilojen pitkien sivujen suuntaiset käytävät johtavat pitkiin siirtomatkoihin, jolloin tulisi suosia lyhyen sivun suuntaisia käytäviä. Monesti on tarpeen muodostaa poikkikäytäviä, ja ne tulee sijoittaa myös palvelemaan tuotantoa käytävän molemmin puolin. Käytävien leveyteen kannattaa kiinnittää huomiota, ja pyrkiä mahdollisimman kapeisiin käytäviin tuotantotilan tuotantokäytössä olevan pinta-alan maksimoimiseksi. Kapeampien käytävien käyttöä voidaan auttaa suunnittelemalla materiaalivirta ja trukkiliikenne yksisuuntaiseksi sekä sijoittamalla materiaalilavojen tms. jättö- ja noutopaikkoja kohtiin jossa materiaalinkäsittelylaitteen kääntymiselle on tilaa. Myös kuljetettavien yksiköiden koon pienentäminen, mikäli se on mahdollista, luo edellytyksiä kapeammille käytäville. (Harmon. 1990. s. 45-53)

Valtioneuvoston asetukset antavat ohjeita käytävien leveyksistä. Jalankulku ja trukkiliikenne olisi hyvä erottaa toisistaan ja ovien aukeamista käytäville tulee välttää. Käytävien mitoitus tulee toteuttaa kaluston, kuormien ja liikennetiheyksien mukaan. Yhden-suuntaiset trukkiväylän leveyden tulee olla 2,4 m, ja pääkulku- tai trukkiväylän viereisen jalankulkukäytävän 1,2 m leveä. Muualla jalankulkukäytävän leveys tulee olla vähintään 0,8 m. (Tapiola. 2012. s. 5)

Tuotannon tyypistä ja laajuudesta riippuen layoutsuunnittelussa voidaan soveltaa erilaisia perustyyppisiä layoutin muodostamisessa. Harvoin lopullinen ratkaisu perustuu yhteen perustyyppiin, vaan fyysisten rajoitusten puitteissa tehdään prosessinmukaisia yhdistelmiä layout-tyypeistä parhaan sovellettavuuden mukaisesti.

4.2.1 Tuotantolinja

Tuotantolinjassa tuotantolaitteet on sijoitettu peräkkäin tuotteen valmistamisen edellyttämässä järjestyksessä. Tuotantolinjatuotanto tukee suuria valmistusvolyymejä, eikä salli työmäärällisesti suuria muutoksia linjalla tehtävien tuotteiden kesken, sillä vaiheikojen vaihtelut sekoittavat linjan tahdin. Tuotantolinjassa tuotantoa ja materiaalinkäsittelyä on mahdollista helpottaa automaatiolaittein sekä kuljettimin ja siten tasoittaa virtausta entisestään. Tasainen virtaus helpottaa linjan tuotannon ja materiaalivirtojen ohjaamista, ja linjaa voidaankin käsitellä yhtenä kokonaisuutena ohjaamisen kannalta. (Stevenson. 2009. s. 273-274; Haverila et. al. 2005. s. 481)

Pienikin häiriö linjan yksikössä vaikuttaa nopeasti muuhun linjan toimintaan aiheuttaen puskurivarastoja tai puutetilanteita. Häiriöttömyys edellyttää panostusta ennakkohuoltoon ja varaosien saatavuuteen sekä tuotannon laadun valvontaan. Kerran toteutettua kallista tuotantolinjainvestointia on hankala muuttaa sopimaan muuttuneeseen tuotteistoon, joten tuotantolinjan perustamispäätöksissä on oltava pitkä aikajänne. Ilman työntekijöiden tehtävänkiertoa tuotantolinjatyö, erityisesti pakkotahtinen, nähdään toistuvana ja yksitoikkoisena, mikä johtaa heikkoon motivaatioon eikä edesauta työntekijän kehittymistä. (Stevenson. 2009. s. 250-251; Haverila et. al. 2005. s. 475-476)

Tuotantolinja mielletään usein muodoltaan suoraksi. Suorassa linjassa on kuitenkin useita haittapuolia, ja se ei lähtökohtaisesti ole edes toivottava linjan muoto kappaleta-varatuotannossa. Pahimmat ongelmat liittyvät linjan eri päissä työskentelevien kommu-

nikaatio-ongelmiin sekä muusta layoutsuunnittelusta riippuen suurempaan käytävien vaatimaan laatia pinta-alan. (Harmon. 1990. s. 85-86)

4.2.2 U-muotoinen layout

U-muotoiset solut tai serpentiinilinjat mahdollistavat helpomman muunneltavuuden ja laajennettavuuden tiivistämällä tai kasvattamalla vapaata tilaa. Serpentiinilinjat voidaan sijoittaa tuotantotiloissa joustavammin ja suoraa linjaa pienemmin käytävin erilaisiin muotoihin. Tällaisen linjan suurimpia etuja ovat mahdollisuus linjan alku- ja loppupään sijoittamiseen samalle pääkäytävälle sekä kompakti koko, joka luo työntekijöissä yhteisöllisyyden tunnetta. Tiiviys mahdollistaa myös työntekijöiden nopeamman siirtymisen linjan työpisteeltä toiselle sekä työnjohdon helpomman valvomisen, kun yhdellä silmäyksellä näkee suuremman osan toiminnasta ja paikalle ehtii lyhyemmässä ajassa. Kun työnjohto on nopeasti paikalla ja työntekijät linjan alku- ja loppupään välillä ovat lähellä toisiaan, on tiedonkulku alku- ja loppupään välillä helpompaa, jolloin laatuvirheisiin voidaan tarttua nopeammin. (Harmon. 1990. s. 85-87; Stevenson. 2009. s. 252)

Kun työnvaiheita tuotteen aikaansaamiseksi on vain muutama ja työntekijöitä vastaava määrä on suora linjaärkevin ratkaisu. Suoran linjan rinnalle tulevat vaihtoehdoiksi, L – tai U-muoto, kun työpisteitä linjalla on kahdesta kahdeksaan. Useampi työpiste mahdollistaa jo serpentiinilinjan toteuttamisen. Käytännössä serpentiini- ja U-muotoisessa linjassa viisi työpistettä kussakin jalassa on suositeltava minimi. (Harmon. 1990. s.88)

Osa- ja alikokoonpano pisteet Harmon (1990. s. 89-91) suosittelee sijoittamaan yhdensuuntaisesti pääkokoonpanolinjan kanssa eikä kohtisuoraan pääkokoonpanolinjaan nähden. Perusteena on yhdensuuntaisten alikokoonpanopisteiden vaatima pienempi tilavaatimus. Tällöin pääkokoonpanolinjan ympärille ei jää tyhjää tilaa, joka täyttyisi liian aikaisin pääkokoonpanolinjalle ja alikokoonpanopisteille toimitetuista osista ja kokoonpanoista.

4.2.3 Funktionaalinen layout

Funktionaalisessa layoutissa koneet ja työpisteet on ryhmitelty samankaltaisuuteen perustuen, esimerkiksi lastuavan työstön koneet on sijoitettu ryhmänä samalle alueelle ja vastaavasti lävistävät tai leikkaavat koneet kaikki omalle alueelleen. Funktionaalisessa layoutissa töiden ohjaus ja ajoittaminen on hankalaa, sillä tuotteiden reitit koneelta toiselle voivat vaihdella suuresti eri tuotteiden kesken. Työt jonottavat eri koneille, kuljetusmatkat muodostuvat pitkiksi ja monimutkaisiksi. Epätasainen kuormitus johtaa toisten koneiden tyhjäkäyntiin ja toisten ylikuormitustilanteisiin. Kaikki tämä lisää kesken-eräistä tuotantoa ja pidentää läpäisyaikaa. Iso keskeneräinen tuotanto ja monimutkaiset työnkulut tuovat haastetta laadunvalvonalle, ja usein johtavat linjatuotantoa alempaan laatutasoon. (Haverila et. al. 2005. s. 476-477; Stevenson. 2009. s. 253)

Funktionaalisessa layoutissa koneet ovat monesti monipuolisia yleiskoneita ja niillä voidaan valmistaa joustavasti pieniä sarjoja tai yksittäiskappaleita erilaisia tuotteita.

Monipuolisen tuotannon vuoksi työntekijöillä täytyy olla korkea osaamistaso. Vastavasti koneiden ollessa usein vakiokoneita on niiden huolto ja varaosat linjatuotannon erikoiskoneita edullisempia. (Haverila et. al. 2005. s. 476; Stevenson. 2009. s. 253)

Funktionaalista layoutia suunniteltaessa tulee varautua tuotteistossa tapahtuviin muutoksiin. Layout tulee suunnitella siten että siirtomatkat ja –kerrat voidaan minimoida, mutta samalla tulee ottaa huomioon tulevaisuuden vaatimukset, jotka aiheuttavat tarvetta layoutmuutoksiin ja kapasiteetin säätelyyn. (Haverila et. al. 2005. s. 482)

4.2.4 Solu-layout

Sijoittamalla tietyn tuotteen tai tuoteryhmän valmistamiseen tarvittavat koneet ja resurssit samalle alueelle, ja ryhmittelemällä ne työnkulun mukaisesti saadaan yhdistelmä funktionaalisesta ja linjamuotoisesta layoutista. Solu-layout saattaa muistuttaa myös U-muotoista layoutia, mutta merkittävin ero on, että solussa tuotteiden ei lähtökohtaisesti ole tarkoitus käydä työstettävänä jokaisella solun työpisteellä. Funktionaaliseen layoutiin nähden erona on, että materiaalivirrat työnvaiheesta toiseen ovat selkeät ja lyhyet, jolloin koko solun läpäisy aika tulee lyhyeksi eikä välivarastoja tarvita. (Haverila et. al. 2005. s. 477-478; Stevenson. 2009. s. 255-257)

Solutuotannossa työntekijöillä on enemmän mahdollisuuksia vaikuttaa oman työnsä sisältöön ja tehtävien jakoon, minkä vuoksi solutuotannossa työntekijöiden motivaatio ja siten myös tuottavuus nousee. Itsenäisempi työskentely solussa edellyttää myös työntekijöiltä useamman työvaiheen hallintaa kuin esimerkiksi linjatuotannossa. (Haverila et. al. 2005. s. 477-478; Stevenson. 2009. s. 255-257)

4.3 Työkaluja vaihtoehtojen luomiseen ja vertailuun

SWOT-analyysi perustuu nelikentään, jossa arvioidaan kohteen vahvuuksia (S), heikkouksia (W), mahdollisuuksia (O) sekä uhkia (T). SWOT-analyysi on hyvä työkalu strategian hiomisessa ja vaihtoehtojen arvioimisessa. Sitä voidaan käyttää aihepiirin avaamiseen keskustelulle tai tarkkana systemaattisen analysoinnin työkaluna. Jäänrikkोजना käytettäessä riittää, että eri kenttiin sijoittuvat arviot ovat verbaalisesti määriteltyjä, kun taas systemaattisemmassa tarkoituksessa tulokset tulisi kirjata tarkoilla määritteillä, mielellään numeerisesti ilmaistuna. Työkalua käytettäessä kannattaa olla realisti, eikä kirjata vahvuuksiin sellaisia asioita, jotka ovat itsestäänselvyksiä tai alan vaatimuksia, eikä heikkouksia kannata myöskään vähätellä. (Manktelow & Carlson, 2012.)

Optimoitaessa siirtomatkoja tai –kustannuksia, syötteinä laskennalle ovat vaiheiden tai sijaintien väliset etäisyydet, siirrettävät määrät sekä siirtokustannukset. Tiedot taulukoidaan ja sen jälkeen eri kombinaatioiden etäisyyden ja määrien tai kustannusten tuloa voidaan alkaa optimoimaan taulukkolaskennalla. (Stevenson. 2009. s.272-273)

Painotettu etäisyys –menetelmässä voidaan edellä esitettyyn nähden käyttää haluttuja painokertoimia esimerkiksi mikäli tiettyjen kappaleiden siirto tiettyjen työvaiheiden

välillä on erityisen haastavaa. Etäisyyden eri työvaiheiden välillä voidaan laskea suori-na etäisyyksinä osaston keskeltä toisen osaston keskelle tai käyttämällä suorakulmaisen etäisyyden menetelmää, jossa otetaan huomioon väistettävät kohteet suorakulmaisina käännöksinä. (Krajewski & Ritzman. 2005. s. 310-312)

Eri layoutehdotusten vaatimia pinta-aloja, määrään suhteutettuja materiaalien siirtomatkoja sekä suhteellista lähekkäisyyttä vertaamalla saadaan yhdellä tapaa valittua paras layout. KET:n pienentämisen ollessa layout-suunnittelun keskeisimpänä tavoitteena ovat määrään suhteutetut materiaalien siirtomatkat tärkein kriteeri. Eri layout-ehdotukset listataan paremmuusjärjestykseen valittujen kriteerien perusteella kuten kuvassa 12. Kun kuvan tulokset layout-ehdotuksen kohdalta lasketaan yhteen ja painotetaan määritetyllä tavalla, saadaan kokonaisvaltainen arvio eri ehdotusten paremmuusjärjestyksestä. (Pinto, W. J. & Shayan E. 2007.)

	Layout	Area in Sq.m	Rank	Flow * Distance	Rank	Percentage of Adjacency	Rank
1	Graph Theory 1	713	VI	7931.45	VI	80	I
2	Graph Theory 2	630	V	7404.7	II	80	I
3	CRAFT	578	IV	7784.85	V	73.33	II
4	Optimum sequence	576	III	9328.2	VII	66.67	III
5	BLOC PLAN 1	630	V	7559	IV	73.33	II
6	BLOC PLAN 2	520	II	7025.05	I	73.33	II
7	Genetic Algorithm	613	I	7432.4	III	63.33	IV

KUVA 12. Eri menetelmin saadut layoutehdotukset taulukoituna, arvioituna kolmen eri kriteerin perusteella ja paremmuusjärjestykseen laitettuna. (Pinto, W. J. & Shayan E. 2007.)

Kuvassa 12 esiintyy ohjelmistopohjaisten layout-suunnittelumenetelmien nimiä. Näitä menetelmiä käsitellään lyhyesti seuraavan luvun lopussa.

4.3.1 Simulointi

Simulointi on menetelmä, jossa ongelmaa lähestytään mallintamisen keinoin. Suunnittelun kohteen toimintaa voidaan kokeilla muuttamalla lähtöparametreja ja tutkimalla miten ne vaikuttavat lopputulokseen. Simulointia voidaan hyödyntää staattisen tai dynaamisen layoutsuunnittelun lisäksi kaikessa tuotantotoimintaan liittyvässä kehittämisessä, kuten varastojärjestelmien suunnittelussa, kapasiteetilaskennassa ja koulutus tarkoituksissa. Simulointimallien tulokset perustuvat täysin lähtöparametreihin, joten niiden oikeellisuus vaikuttaa ratkaisevasti tuloksiin. Lisäksi satunnaistapahtumien simulointi tai niiden toteutumattomuus tulee ottaa huomioon (Haverila et. al. 2005. s. 487-488)

3d-mallien simulointi 3d-virtuaaliympäristössä antaa mahdollisuuden tutkia luonnollisessa koossa suunnittelumalleja. Malleja voidaan käsitellä joko staattisina tavoitteena tilavaatimus- tai näkyvyystarkastelu tai tehostettuna ihmisten, koneiden ja tavaroiden liikkeellä, jolloin voidaan tehdä myös ulottuvuustarkastelua ja tutkia visuaalisesti tuotannon virtauksen luonnetta sekä pullonkauloja. (Hellman. 2012.)

Simuloinnilla voidaan lähtöarvoja muuttelemalla päästä vertaamaan erilaisia vaihtoehtoja lähtöarvojen sallimissa puitteissa, mutta matemaattisin kaavoin lasketut käyrät eri muuttujista ja niiden optimointi antavat simulointeja tarkempia ratkaisuja. (Krajewski & Ritzman. 2005. s. 170)

4.3.2 Ohjelmistopohjaiset suunnittelumenetelmät laajempien ongelmien ratkaisemiseen

Kun suunnittelun kohteen koko kasvaa, lisääntyy myös vaihtoehtoisten kombinaatioiden määrä merkittävästi. Tällöin ihmisen ongelmanratkaisukyky tulee suorituskäytönsä rajoille, ja siksi on kehitetty ohjelmistoja kuten CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique), CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning) ja ALDEP (Automated Layout Design Program) sekä monia muita. CRAFT on esitelty vuonna 1963 Buffan, Armourin ja Vollmanin toimesta, CORELAP vuonna 1967 Leen ja Mooren toimesta ja ALDEP vastaavasti vuonna 1967 Seehofin ja Evansin toimesta. Peruseriaate kaikissa ohjelmistoissa on virtauksen optimointi osastojen sijainteja määrittämällä. Optimointi perustuu kustannusten ja etäisyyksien tai osastojen välisten yhteyksien laskentaan asetettujen rajoitteiden kuten pinta-alojen puitteissa. (Weng, 1999. s. 13-33)

CRAFT:n algoritmi perustuu lähtötietoina syötettyyn etäisyys- ja kustannusmatriisiin sekä alustavaan laatikkolayoutiin. Ohjelma optimoi eri vaihtoehtojen pohjalta iteroimalla materiaalien siirtoetäisyyksiä, käyttäen laatikoiden keskipisteitä materiaalien sisään- ja ulosmenopisteinä. CORELAP on tietokoneohjelmistona toteutettu versio Mutherin SLP –menetelmästä, joka esiteltiin luvussa 4.2. ALDEP on muunnos CORELAP:sta. Sen toiminta perustuu myös etäisyysmatriisiin. Ohjelma valitsee satunnaisesti ensimmäisen sijoitettavan osaston ja alkaa liittämään siihen muita osastoja aloittaen osastosta jolla on vahvin yhteys jo sijoitettuun osastoon. Tulos perustuu kuljetusetäisyyksien optimointiin kuten CRAFT-menetelmässäkin. (Krajewski & Ritzman. 2005. s. 314; Weng, 1999. s. 13-24)

Weng (1999) kritisoi ohjelmia siitä, että ne eivät pysty käsittelemään muutoksia materiaalien käsittelykustannuksissa eri osastojen välisiä variaatioita luotaessa, eivätkä ne luo muunneltavuudeltaan joustavia layouteja. Lisäksi menetelmät käyttävät laatikoiden keskipisteitä sisään- ja ulosmenopisteinä, mikä käytännössä on lähes aina toisin toteutettu. Omassa työssään Weng on pyrkinyt luomaan layoutsuunnittelu algoritmin (Flexible Layout Design System), joka ottaa huomioon lineaarisen regression mukaisen ennusteen materiaalivirtojen muuttumisesta luoden samalla layouteja, joita on helppo muunnella. Tavoitteena on minimoida materiaalin liikuttelun kustannukset. Metodi pohjautuu osas-

tojen lähekkäisyyteen, jolloin materiaalien käsittely- ja siirtokustannukset saadaan minimoitua. Muunneltavuuden helppous perustuu osastojen pilkkomiseen, jolloin niitä voidaan sijoittaa monipuolisemmin. Ryhmäteknologia ja solutuotanto sallivat pilkkomisen vanhoja tuotantotapoja paremmin. Tulosta iteroidaan kunnes ratkaisuun ollaan tyytyväisiä. Myös tämä menetelmä toimii käyttäen osastojen keskipisteitä materiaalivirtojen sisään- ja ulosmenoreitteinä. Wengin menetelmä käyttää samoja syötteitä kuin aiemmatkin menetelmät. Tutkimuksessa olemassa olevalla datalla tehdyt vertailut mm. CRAFT ja ALDEP –menetelmiin osoittivat Wengin algoritmin tuottavan materiaalinkäsittelykustannuksiltaan yli 10 % edullisempia ratkaisuja layouteiksi. (Weng, 1999. s. 38-59 ja s. 91-116)

5 TUTKIMUSYMPÄRISTÖ

Riikku Rakenteet Oy on vuonna 2005 perustettu alumiinilasirakenne toimittaja. Tuotantotilat sijaitsevat Alavudella. Tuotantotilojen koko on kaksinkertaistettu vuonna 2010 valmistuneessa laajennuksessa, ja nykyisellään sitä on käytössä n. 2000m². Lisäksi yritys on hankkinut käyttöönsä n. 3 ha tonttialueen nykyisten tilojensa ympäriltä.

Tuotteiden päämarkkina-alue on Etelä-Suomi ja pääsääntöisesti kasvukeskukset. Aluekonttorit sijaitsevat Vantaalla ja Raisiossa. Yrityksen omat toiminnot koostuvat myynnistä, projektinhallinnasta, tuotekehityksestä ja tuotannosta. Tuotteiden asennuksista vastaavat sekä omat asentajat että alihankkijat. Liikevaihdon kasvu on ollut vuosittain useita kymmeniä prosentteja, huolimatta viimevuosina Eurooppaa ja Suomea koetelleesta lamasta. Yrityksen strategisena tavoitteena on jatkaa kasvulinjalla.

Kohdeyrityksen liiketoiminta keskittyy alumiinilasirakentamiseen, ja koostuu pelkästään toimitusprojekteista rakennustyömaille. Päätuotteena ovat parveke- ja terassilasi-tukset, mutta tuotevalikoimaan kuuluu myös alumiinirunkoiset ovet ja ikkunat sekä erilaiset lasikatot ja lasijulkisivurakenteet. Parvekelasituksissa yritys on ottanut vuodenvaihteessa 2011–2012 käyttöön oman tuotekehityksen tuloksena suunnitellun rakenteen. Parvekelasitustuotteiden kohteita ovat muun muassa uudet ja remontoitavat kerrostalot. Muiden tuoteryhmien pääkohteena ovat julkiset rakennukset tai toimisto- ja toimitilarakentaminen.

5.1 Tuotantoprosessi

Tuotantoprosessi on kaikille tuotteille hyvin samankaltainen. Tuoteryhmästä riippuen työvaiheita tehtaalla on lukumääräisesti neljästä kymmeneen. Tuotantopäällikkö ajoittaa tuotantotilaukset tuotantoon ja toimittaa työmääräimen sahan käyttäjälle.

Tuotanto alkaa, kun trukin kuljettaja tuo ulkovarastosta tuotantotilaukseen osoitetut alumiiniprofiilini put sisälle katkottavaksi. Sahaaja katkoo suunnittelijan tekemän sahauslistan perusteella kaikki tarvittavat kappaleet sekä panostaa ne pituudesta riippuen pyörillä kulkevaan avohyllyyn tai telineeseen. Sahaaja myös merkitsee kaikki isommat yksittäiset kappaleet tai avohyllyn jokaisen hyllyvälin työmääräimestä muodostuvalla numerolla. Mikäli kaikki materiaali on käytettävissä, koko tuotantotilaus katkotaan samalla kertaa riippumatta sen suuruudesta. Koska kaikki osat ovat tuotantotilauskohtaisia, on osien merkitseminen tärkeä osa sahurin työtä. Vaunut jäävät odottamaan seuraavaa työvaihetta.

Sahauksen jälkeen osa profiileista haetaan kokoonpanopisteille ja osalle tehdään tuotelinjakohtaisilla pora- ja jyrsinkoneilla yms. erilaisia aukotuksia. Parvekelasikokoonpanossa tarvittavat profiilit siirtyvät työstöjen jälkeen varusteluun erilaisten kisko-osien

asennusta varten. Muut tuotteet siirtyvät tuotantolinjallaan seuraavaksi pääkokoonpanoon.

Pääkokoonpanoa varten aputyöposteillä valmistellaan esimerkiksi tiivistelijoita sekä ovien eristemateriaaleja. Pääkokoonpano tapahtuu yhdelle tuotekokonaisuudelle yhdellä työposteillä paikkakokoonpanona. Kokoonpanon lopuksi tuotteet pakataan tuotteita varten rakennettaville kuormalavoille muovin käärittynä ulko-varastointia tai kuljetusta varten.

Työvaiheita on tuotelinjakohtaisesti vähän, ja ainoa yhteinen resurssi eri tuotteille on sahaus. Viidestä tuotelinjasta yhden sahaukset jaetaan sahojen fyysisten ominaisuuksien sekä kapasiteetin vuoksi kahden sahan kesken, mutta muut tuotelinjat varaavat sahaus-kapasiteettia vain toiselta sahoista, joka on tuotelinjakohtaisesti aina sama.

5.2 Rakennusosat tuotannon erityispiirteet

Yrityksen kaikki tuoteryhmät ovat tuotteita, jotka tulevat kiinteäksi osaksi rakennusta. Näin ollen tuotteiden tulee olla asennettavissa ja asennuksen valmis muun rakennusprojektin etenemisen mukaisesti.

Tuotannonohjauksen ja varaston arvon tarkastelun mielessä etenkin rakennusprojektien viivästyminen aiheuttaa haastetta. Karkeakuormitusta pitäisi pystyä muuttamaan ts. aloitusta siirtämään lyhyellä, jopa kahden viikon, aikajänteellä. Varsinaisen tuotannon kanssa se ei usein ole ongelma, mutta tuotantotilaukskohtaisten materiaalien toimitusajat voivat asettaa rajat sille, miten paljon jotain toista tilausta voidaan ajoittaa alkamaan aiemmin. Toimituksen viivästyisestä aiheutuu haittaa myös kasvavana valmistusvarastona, mikä myös sitoo pääomaa varastoihin. Valmistusvarastossa tuotteiden arvossa on mukana myös niiden jalostamiseen tehty työ, mikä tarkoittaa suurempaa pääoman sitoutumista kuin raaka-aineväroastossa.

Kaikki yrityksen tuoteryhmien tuotteet omaavat ryhmässään samanlaisen tuoterakenteen. Rakennuskohteisiin tuotettavissa tarkkamittaisissa rakenteissa haastavuutta lisää se, että jokaisen kohteen kaikki mitat täytyy käydä mittaamassa paikan päällä ennen lopullista tuotteiden mitoittamista suunnittelussa. Vasta sen jälkeen voidaan tarkasti tilata oikea määrä profiilia. Ennakolta tilattu määrä profiileja sekä myös lasilevyjä ei anna anteeksi susituotteiden tekemistä tai tuotteen vaurioitumista, vaan johtaa heti puutetilanteeseen. Kohdekohtainen mitoitus tekee muutoin vakiotuotteiden tuotannosta projektituotantoa, mikä aiheuttaa sen että mitään osia tai puolivalmisteita ei voi valmistaa väroastoon. Täten tuotannossa ei saa esiintyä pullonkauloja ja tuotannon alkaessa sen on mentävä sujuvasti loppuun saakka.

6 KEHITYSTYÖN LÄHTÖTILANNE

Kohdeyrityksen tuotanto on kasvanut viime vuosina merkittävästi, ja kasvun on suunniteltu jatkuvan tulevaisuudessakin. Nopea kasvu on alkanut aiheuttaa paineita suunnitelmallisemman layoutin ja kehitystoimien toteuttamiselle.

6.1 Lähtötilanteen määrittely ja sitä vastaava layout

Nykyinen tuotanto tapahtuu kahden suorakaiteen muotoisen hallin muodostamassa tilassa. Uudempi halli on rakennettu vanhan rinnalle ilman hallien välistä seinää. Pituutta rakennuksella on noin 60m ja leveyttä hieman alle 40m. Tuotantotilaa on noin 2000m² ja toimisto- ja sosiaalitilaa 400m². Kaksikerroksiset toimisto- ja sosiaalitilat sijoittuvat vanhemman hallin toiseen pätyyn. Molemmissa hallin osissa on käytössä siltanosturit koko hallin pituudelta. Nosto-ovia on kaksi kappaletta rakennuksen molemmilla pitkillä sivuille sekä yksi nosto-ovi uuden hallin päädyssä. Lisäksi uuden hallin pitkällä sivulla on koko sivun mittainen viisi metriä syvä avokatos. Kuvassa 14 on 3d-mallista otettu katsanto, jossa kuvan vasemmassa alalaidassa oleva punainen alue kuvaa liittymää, josta tontille kulku tapahtuu, kuvassa ruskean alueen ollessa metsänpohjaa.



KUVA 14. Tehdasalueen layout työn aloitusvaiheessa tontille saapumisen suunnasta

Materiaalivarasto ja valmistuotevarasto sijoittuvat kuvan 15 mukaisesti uudemman hallin pitkän sivun suuntaiselle puolelle piha-aluea. Piha-alue on jaettu suunnille puoliksi alumiiniprofiilien ja toimitusta odottavien valmiiden pakettien kesken. Ajoreitit ei ole erityisesti merkitty, mutta varastoalueen ympäri pääsee kiertämään myös yhdistelmäajoneuvolla.



KUVA 15. Tehdasalueen layout työn aloitusvaiheessa.

Tuotanto muodostuu alumiiniprofiileille tehtävien toimenpiteiden ympärille. Työvaiheet voidaan karkeasti jakaa kolmeen eri vaiheeseen, joita ovat profiilien sahaus, lastuava työstö sekä manuaalinen kokoonpano. Kokoonpanossa käsitellään alumiiniprofiileiden lisäksi erityyppisiä kiinnitystarvikkeita, tiivistelijoita ja -massoja, saranamekanismeja ja lukkoja sekä kahdella tuotelinjalla kokoonpanon yhteydessä myös lasilevyjä.

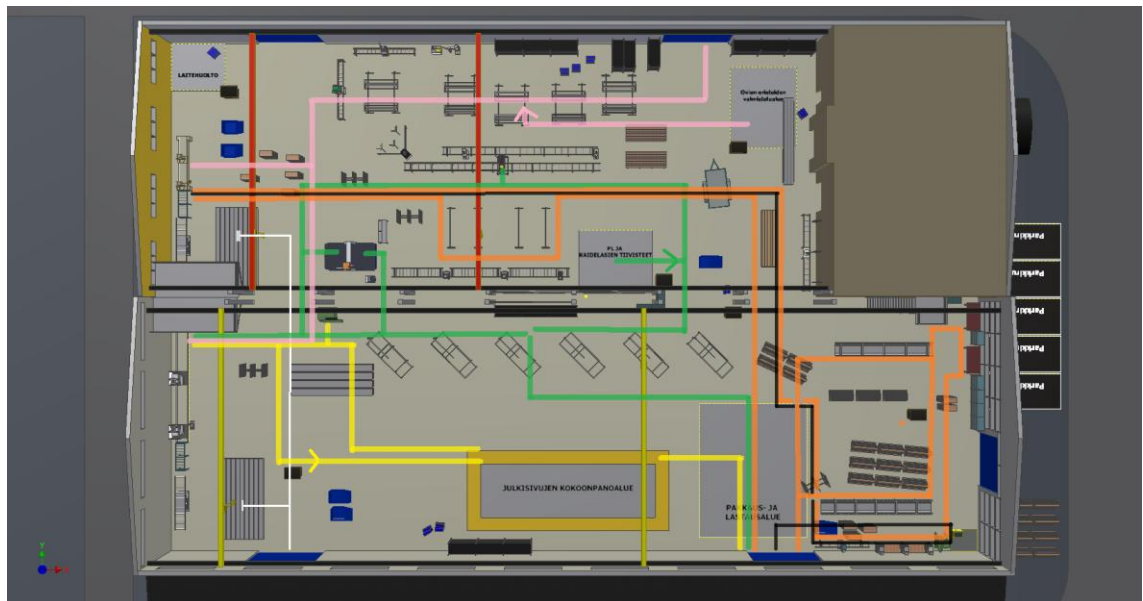
Yksikään tuotannossa käytettävistä koneista ei aseta erityisiä vaatimuksia esimerkiksi lattian perustuksille tai sähkönsyötölle. Suurin osa tuotantovälineistä on yksittäisiä manuaalisia koneita tai konelinjoja sekä erilaisia kokoonpanopöytiä ja -telineitä. Koneiden liikuttelun osalta rajoittavin tekijä on molempien sahojen käytössä oleva lastuimuri, joka sijaitsee rakennuksen ulkopuolella. Myös imuri on siirrettävissä pienellä työllä, mutta sen sijoituspaikkaa rajoittaa imurista aiheutuva melu.

Suurimmaksi ongelmaksi nykyisessä layoutissa on todettu tietyn tuotelinjan tuotteiden pitkät siirtomatkat vaiheiden välillä hallin kulmasta toiseen. Muitakin tarpeettomasti risteäviä materiaalivirtoja oli havaittu olevan. Kuvassa 16 on eri värein esittelyynä tuote-

linjakohtaiset materiaalivirrat tuotannossa. Kilomääräisesti erot eri tuotelinjojen välillä ovat pienet. Eri tuotelinjoilla virtaa tuotannon läpi kuitenkin erisuuruisia kappalemääriä. Kappalemäärän kasvaessa profiilien koko ja pituudet vastaavasti pienenevät. Esimerkiksi parvekelasitukseen käytettävien alumiinikiskojen lukumäärät ovat suuria ja profiilin koko pieni, kun vastaavasti julkisivuelementtejä tehtäessä tilanne on käänteinen. Tässä sekä seuraavien lukujen kuvissa tuotannon materiaalivirtoja on esitetty tuotelinjakohtaisesti eri värein seuraavasti:

- Julkisivut – keltainen
- Parvekekaiteet – vihreä
- Ovet ja ikkunat – vaalean punainen
- Parvekelasitukset – oranssi
- Terassilasitukset – musta.

Ainoastaan materiaalivirrat ensimmäisestä työvaiheesta eteenpäin on esitetty. Raaka-aineiden tuomista tuotantotiloihin ei ole kuvattu. Käytännössä materiaali tuodaan sisään tuotelinjan alkupäätä lähimpänä olevasta nosto-ovesta, ja vastaavasti viedään ulos tuotelinjan päätä lähimpänä olevasta nosto-ovesta. Myöskään kuvissa ei ole tuotu esiin eri tuotelinjojen materiaalivirtojen suhteellisia määriä.



KUVA 16. Materiaalivirroista työtä aloitettaessa.

Kuvasta 16 voidaan havaita että risteäviä materiaalivirtoja löytyy ja visuaalista ohjausta tulevan virtauksen vastaisesti kaikki materiaalivirrat eivät ole erityisen suoraviivaisia. Virtuaalimalli lähtötilanteesta antaa kuvan 16 mukaisesti hiukan positiivisesti vääristyneen käsityksen vapaan tilan määrästä, sillä todellisuudessa lattia on aika ajoin enemmän tai vähemmän täynnä keskeneräistä tuotantoa, varastoitavia raaka-aineita, pakkausmateriaalia sekä jopa tarpeettomaksi luokiteltavaa hukkamateriaalia ja roskaa. Tilanne ei ole kuitenkaan pahin mahdollinen.

6.2 Tuotannonkehittämisen muut lähtökohdat

Päätavoitteeksi voidaan asettaa vaihtelun ja hukan vähentäminen. Suurimmat hukat liittyvät kapasiteetin tasapainottamiseen tilausten ja toimitusten ajankohtien muuttuessa, mikä aiheuttaa kiiretilanteita ja suuria puolivalmistepuskureita tuotantoon. Suurimmat rahalliset hukat ovat minimaaliset, sillä A-nimikkeiden tilaukset ja mitat ovat optimoitu siten että materiaalihukkaa ei juuri esiinny.

Tuotantotilauksen aloittamisen ja lopettamisen välillä kulunut kalenteriaika sekä käytetyt työtunnit ovat tietoa, jota on kerätty jo aiemmin. Työnvaihekohtaisista vaiheajoista tai jalostavan työn sekä hukan osuudesta eri työnvaiheiden sisällä ei ole kerättyä tietoa. Käytettävissä olevan tiedon perusteella voidaan tehdä kapasiteettilaskelmia ja kuormitussuunnitelmia, mutta ne eivät mahdollista tehokasta työvaiheiden tasaamisen toteuttamista tai hienokuormitusta. Lisäksi jalostamattoman työajan kertymisen määrä ja syyt jäävät arvailujen varaan eikä kehitystyön systemaattinen toteuttaminen ole helppoa.

Työpisteillä kulutettavien B ja C-osien täydentämisen varastosta tekee työpisteen työntekijä itse osalaatikon tyhjentyessä. Tämä aika on poissa varsinaiseen kokoonpanotyöhön käytettävästä ajasta. Toimituksen mukana asennustyömaalle lähtevät tarvikkeet kerää erillinen työntekijä setteihin.

7 LAYOUT-EHDOTUKSET ERI TILANTEISSA

Vain harvoissa tapauksissa tuotantolaitteet ovat siirrettävissä paikasta toiseen pelkällä siirtotyöllä; useimmiten täytyy ottaa huomioon tuotantokoneiden vaatimat perustukset, LVISA-liitynnät, olemassa olevat kiinteät rakenteet ja muut tuotantoprosessista ja tuot-teista johtumattomat rajoitteet, kuten siltanosturien ulottuvuudet. Kohdeyrityksessä tuo-tantokoneiden ja kokoonpanopöytien siirtäminen oli verraten vaivatonta; lähinnä säh-kön- ja paineilmansyötön saatavuus tuli varmistaa uudessa sijoituspaikassa. Suurempia layoutmuutoksia tehtäessä katkaisusahojen yhteisen lastuimurin uudelleensijoittaminen rakennuksen ulkopuolella on työläin siirrettävä kokonaisuus.

Hallissa oleva vesikiertoinen lattialämmitys on huomioitava seikka, jos esimerkiksi ko-ne- tai varastohyllyhankinnat edellyttävät tukevaa kiinnittämistä lattiaan. Ongelmat ovat kuitenkin vältettävissä huolellisella suunnittelulla.

7.1 Menetelmät ja mallintaminen

Layout-suunnittelua aloitettaessa ja sen edetessä tuotantoon tutustuttiin useampia kerto-ja, ja tuotantopäällikön sekä toimitusjohtajan kanssa käytiin keskusteluja erilaisista työnkuluista ja työnvaiheista sekä suunnittelussa huomioon otettavista rajoitteista ja toiveista.

Virtuaalimallia varten kaikki keskeiset elementit kuten tontti, rakennukset, tuotantoko-neet, varastohyllyt, raaka-aineet sekä valmistuotteet, tuotannon kuljetusvälineet, roska-astiat, työkalupakit ja pakkauslavat mitattiin ja niistä piirrettiin 3d-ympäristöön esiku-vaansa karkeasti muistuttavat mallit. Mallinnetut komponentit sijoitettiin lähtötilannetta vastaaville paikoille. Mallinnustyö toteutettiin Autodesk Inventor 2012 CAD-ohjelmistolla. Suunnittelulle annettujen reunaehtojen ja teoriaoppien pohjalta ryhdyttiin toteuttamaan uusia suunnitelmia eri tilanteita varten. Nämä tilanteet on tarkasteltu seu-raavissa luvuissa. Kustakin skenaariosta suunniteltiin kolmesta kuuteen eri versiota, joita työn edetessä tarkasteltiin kohdeyrityksen edustajien kanssa, ja tehtiin tarvittaessa muutoksia ja karsittiin vaihtoehtojen määrää. Viimeisimpien vaihtoehtojen arviointi toteutettiin työn loppuvaiheessa tutkimalla malleja Seinäjoen Ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikön virtuaalitekniikan laboratorioissa, CAVE:ssa (Cave Automatic Virtu-al Environment). Siellä malleja voitiin tarkastella reaalisessa mittakaavassa virtuaalises-sä 3d-ympäristössä. Tällä menetelmällä pyrittiin hahmottamaan erilaisten layoutversioi-den kesken laitteiden sijoittamisen ja niiden väliin jäävän työtilan mitoitus sekä työ-pisteistä saatavia näkymiä muualle tuotantoon.

7.2 Nykyisen konekannan mukainen uusi layout

Ensimmäisenä tavoitteena työtä aloitettaessa oli etsiä ratkaisuja uudeksi layoutiksi olemassa olevalla konekannalla. Mahdolliset muutokset toteutettaisiin nopealla aikataululla. Muutokset eivät ole koneiden siirtämisen kannalta merkittäviä, sillä esimerkiksi sahat päätettiin säilyttää entisellä paikallaan. Materiaalivirtauksen kannalta suurin muutos koskee parvekelasituksien lasilistojen varustelua ja lasilistojen asennusta. Tällä tuotelinjalla materiaalivirtaus saatiin toteutumaan suoraviivaisesti entiseen tarpeettoman pitkiin ja risteäviin siirtomatkoihin nähden. Lisäksi esitetyssä layoutissa kaikki valmiit tuotteet voidaan siirtää hallista ulos samasta ovesta, jolloin kaikki pakkausoperaatiot voidaan keskittää kyseisen oven läheisyyteen, ja sen jälkeen siirtää tavara samalla puolella rakennusta sijaitsevalle varastoalueelle tai suoraan kuljetusvälineeseen. Riskinä on oviaukon ruuhkaantuminen, mutta myös hallin vastakkaisella seinällä oleva ovi on helposti käytettävissä valmiiden tuotteiden ulos viemiseen.

7.3 Uuden hallin rakentamisen aikainen layout vanhoissa tuotantotiloissa

Uusien tilojen rakentaminen vanhojen tilojen välittömään yhteyteen tarkoittaa, että rakentamisen aikana osa nykyisistä tiloista tulevan yhteisen seinän osalta täytyy rajoittaa tuotantokäytön ulkopuolelle. Rakentaminen kestää arvioidusti noin 8...10 kk, joten kysymyksessä on pidempiaikainen väliaikainen muutos, joka täytyy suunnitella huolella.

7.3.1 Suunnittelussa huomioitavat rajoitteet

Rakentamisen käyttöön on varattava noin kolme metriä leveä kaista koko hallin pituudelta. Samoin kyseisellä seinällä sijaitsevat ovet materiaalien sisään- ja ulosvirtaukselle ovat poissa käytöstä ja näille materiaalivirroille täytyy löytää korvaavat reitit. Käytettäväksi jää kolme oviaukkoa, jotka sijaintiensa puolesta tekevät sujuvien materiaalivirtojen suunnittelun hankalaksi. Lisäksi julkisivuelementtien sisällä tapahtuvaa lastausta varten oviaukon leveyden tulisi olla viisi metriä, mutta hallin päädyissä tukipilarien väli on vain 4,8 metriä.

7.3.2 Layout-ehdotus ja sen arviointi

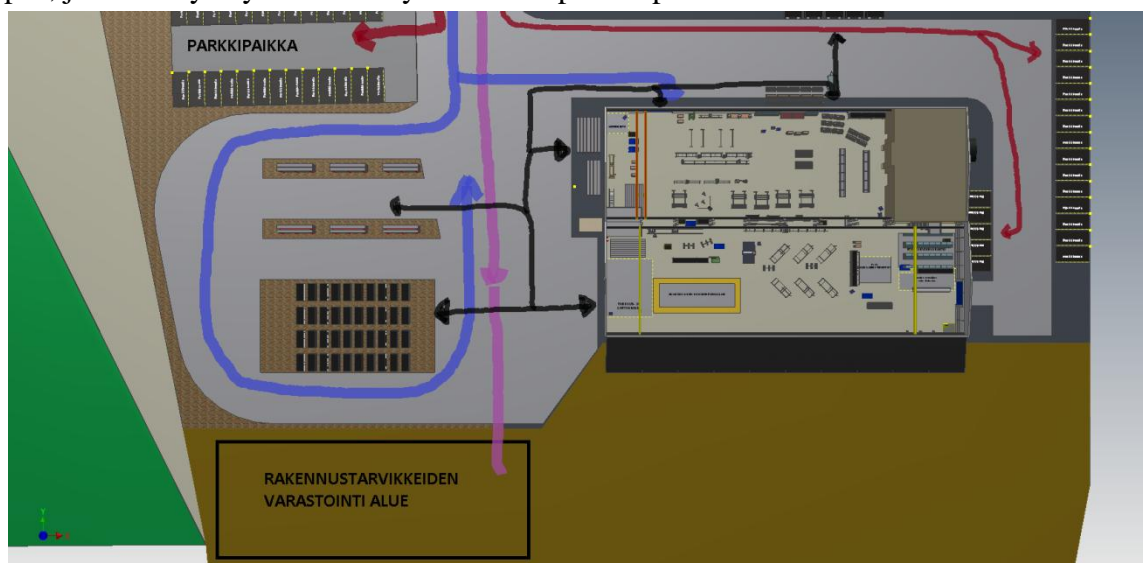
Muutokset uudistettuun, luvussa 7.2. esitettyyn, layoutiin haluttiin pitää mahdollisimman pienenä, sillä layout-suunnittelun keskeisin osa kohdeyrityksen tilanteessa on katkaisusahojen sekä niiden yhteisen lastuimurin sijainti. Lastuimuria joudutaan hiukan siirtämään rakennustöiden edestä pois. Tässä suunnitelmassa se on sijoitettu hallien päätyseinän ulkopuolelle, siten että putkitus on helppo toteuttaa kummallekin sahalle. Toinen vielä rajoittavampi tekijä on, että toimiston puoleisen päädyn nosto-ovea ei voida kunnolla hyödyntää rakennusaikana, sillä toisesta suunnasta rakennustyömaa estää liikenteen, ja toisessa suunnassa tapahtuu kaikki henkilöliikenne, eikä tällä puolella hallia

ole tilaa varastointiin pihalla. Ainoastaan satunnainen pientavaraliikenne on mahdollista hoitaa tämän oven kautta.

Näistä syistä päädyttiin vain kääntämään rakennustyömaan puoleinen saha hallin keskilinjan suuntaiseksi, jotta päätyseinään voitaisiin tehdä uusi materiaalien sisään- ja ulosottamiseen. Samalla myös julkisivurakenteiden ja parvekekaiteiden valmistus tapahtuu tuotelinjoillaan U-muotoisena virtauksena, jossa materiaali tulee sisään samasta ovesta kuin mistä valmiit tuotteet lähtevät. Uuden oven suunniteltu leveys rajoittuu käytännön syistä neljään metriin korkeuden ollessa viisi metriä. Kapeus aiheuttaa ongelmia, jotka edellyttävät rajoittumista joko pienempien ts. alle neljä metriä pitkien parvekekaiteiden valmistukseen tai sellaisen lavansiirtovaunun rakentamista, jolla valmis pakkaus voidaan vetää pituussuuntaisesti ulos.

Muiden tuotelinjojen materiaalivirrat ohjattiin vain ulos hallin toisesta laidasta, mikä ei aiheuta muita ongelmia kuin lisääntyneen liikenteen hallin kapeammalle sivulle. Tilan varaaminen rakennustyömaata varten hallin toiselta pitkältä sivulta ei suunnitelmien mukaan rajoita tuotantokapasiteettia, mutta vähentää tietenkin vapaata käytävtilaa.

Rakentamisen aikaiset materiaalivirrat tehdasalueella on esitetty kuvassa 17. Punainen väri kuvaa henkilöliikennettä, sininen tehdastuotannon edellyttämää rekkaliikennettä, musta tehdastuotannon vaatimaa trukkiliikennettä ja violetti rakennustyömaan aiheuttamaa liikennettä. Pääajoväylä sekä tuotannon että rakennustyömaan kuljetuksille menee keskeltä pihaa ja varastoaluetta, mikä aiheuttaa luultavasti ajoittaista ruuhkautumista. Raaka-aine- ja valmistuotevarasto sijoittuu hallin päätyn. Lisäksi tarvittaessa materiaaleja voidaan varastoida vanhan hallin pitkällä sivulla, kuten lasitavaran kanssa luultavasti tullaan tekemäänkin. Parkkipaikan rakentaminen heti tontin sisääntuloliittymän oikealle puolelle on päätetty jo toteuttaa. Sen avulla minimoidaan henkilöautoliikennettä tehdasalueella. Rakennusaikainen työmaaliikenne voitaisiin mahdollisesti ohjata myös varastoalueen takaa siirtämällä pihavarastoja lähemmäksi tuotantotiloja. Näin rakennustyömaaliikenteen ja tuotannon lastaus- ja purkuliiikenteen risteäminen olisi vähäisempää, ja siten myös yhteentörmäysriski olisi pienempi.



KUVA 17. Materiaalivirrat tehdasalueella rakennusaikana.

Taulukossa 1 on esitettyä rakennusaikaisen layoutin SWOT-analyysin tulokset. Analyysi toteutettiin yhdessä kohdeyrityksen edustajien kanssa työn loppuvaiheessa. Keskeisimpänä mahdollisuutena on muutosten toteuttamisen helppous. Heikkoutena vastaa- vasti risteävät materiaalivirrat, ja sitä kautta kulkureittien ruuhkautuminen. Muuttuvan layoutin ja väliaikaisesti pienenevän tehdastilan käyttö kasvavan tuotannon keskellä antaa mahdollisuuden oppia toimimaan tehokkaammin materiaalivirtauksen näkökul- masta. Entistä pienempi tuotantotila ja entistä suuremmat tuotantomäärät tulee sovittaa yhteen ongelmitta, ja lisäksi mahdolliset uudiskonehankintojen toimitukset ajoittuisivat rakennusaikaan, kun tilaa on muutenkin vähän käytettävissä.

TAULUKKO 1. Rakennusaikaisen layoutin SWOT-analyysi

VAHVUUDET		HEIKKOUEDET	
Mahdollisuus kääntää tuotannon virtauksen suunta		Materiaalivirrat risteävät	
Tarvittavien uusien oviaukkojen lisäys mahdollista	Myöhemmin tarvitta- vat oviaukot voidaan toteuttaa ja ottaa käyttöön jo tässä yh- teydessä	Uuden oven kapeus (4m)	Uudella ovella runsaasti liiken- nettä
Hyvin pienet konei- den siirtotarpeet	Nopea ja edullinen layout muutos	Ulkona vanhan hallin sivulla sekä henkilö- että materiaaliiken- nettä (tilan ahtaus)	
MAHDOLLISUUDET		UHAT	
Uusi tapa toimia ma- teriaalivirtauksien kannalta	Tilan ahtaus = tehok- kuus?	Tuotannon nopea kas- vaminen rakentamisaika- kana	Tilan ahtaus = tehottomuus?
Iso tontti	Opitaan toimimaan materiaalien varas- toinnin kanssa pienellä lattiapinta-alalla	Ulkoalueen tuotannon materiaalivirtojen ja rakentamisen materi- aalivirtojen yhteenso- vittaminen	
	Tilan ahtaus = tehok- kuus?	Uuden tuotantokoneen sovittaminen raken- nusaikana layoutiin	

7.4 Tuotantotilojen laajentamistarpeen huomioiva layout

Lisärakentamisen tarpeen suuruus ei kuitenkaan ollut tarkasti selvillä, mutta oletuksena oli, että edellisen laajennuksen (1200 m²) suuruinen lisärakennus tulisi sekin jäämään pieneksi muutaman vuoden aikajänteellä. Lisärakennuksen suuruutta tuli arvioida tilan- tarpeen, rakennuskustannusten, rakentamisen helppouden ja tuotannollisen toiminnan

sujuvuuden kannalta. Lähtökohdaksi layout-suunnittelulle otettiin jokaisen tuotelinjan tuotannon triplaaminen nykyistä tilavaatimusta pohjana pitäen.

7.4.1 SPL-menetelmän soveltaminen

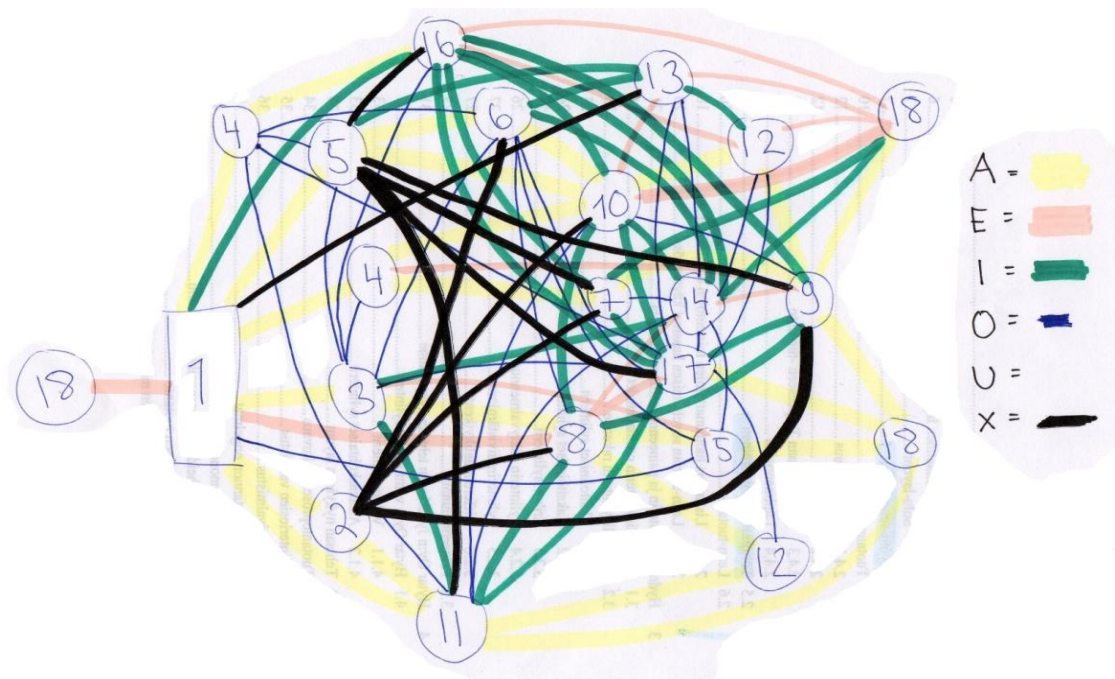
Mutherin systemaattisen layout-suunnittelumenetelmän mukaan ensin täytyy määritellä lähtötiedot, kuten materiaalien kulkureitit, ja sovellettavat layout-tyypit. Toimintojen vuorovaikutusanalyysi voidaan esittää matriisina, josta käy ilmi myös vuorovaikutuksen tyyppi sekä merkitys, kuten liitteenä 2 olevassa taulukossa on tehty. Taulukosta on havaittavissa, että tärkeimmät yhteydet liittyvät materiaalinvirtaukseen toisiaan seuraavien työnvaiheiden välillä useimpien yhteyssuhteiden ollessa toisistaan täysin riippumattomia. Tuotelinjojen yhteisten resurssien yhteyssuhteet korostuvat ensimmäisissä ja viimeisissä työnvaiheissa eli sahauksessa ja pakkaamisessa. Negatiivisia yhteyssuhteita muodostuu melua aiheuttavien ja kokoonpanotyötä käsittävien vaiheiden välille. Työnjohdon yhteys eri työnvaiheisiin on myös monesti tärkeä.

Seuraavaksi taulukon perusteella piirrettiin yhteyssuhdepiirustus, jossa eri värit kuvaavat yhteyssuhteita eri toimintojen välillä. Yhteyssuhdepiirustuksessa käytetty toimintojen numerointi on sama kuin yhteyssuhdematriisissa. Numeroita vastaavat toiminnot ovat esitettynä taulukossa 2. Kuvassa esitetyt värit vastaavat myöhemmissä laatikko-layouteissa käytettyjä värejä eri toiminnoille.

TAULUKKO 2. Laatikko-layoutien värien selitykset

18	VARASTOINTI	5	KOPIOJYRSINTÄ	14	TIIVISTEIDEN KATKONTA
1	SAHAUS	6	NURKKALII-TOKSET	8	KAIDEKOKOONPANO
2	SNÄPITYS	10	OVI & IKKUNA KP	12	PAKKAUSTEN TEKO
11	JULKISIVU KOKOONPANO	13	OVIEN "VARUSTELU"	9	PARVEKELASITUS KOKOONPANO
15	LOVEUKSET	4	PORAUKSET	7	PARVEKELASILISTOJEN VARUSTELU
3	KONEISTUS	17	TYÖNJOHTO	16	TERASSILASITUSTEN KOKOONPANO

Piirustuksen muotoa ja toimintojen sijoittumista iteroitiin kunnes ratkaisuun oltiin tyytyväisiä. Iteroinnin tuloksena saatu yhteyssuhdepiirustus on esitetty kuvassa 18, ja siitä voidaan optimaalisen tuloksen saamisen olevan kovan työn takana vähemmän tärkeiden yhteyssuhteiden mennessä paljon ristiin tuotelinjalta toiselle. Seuraavaa vaihetta helpottaakseen sinisellä kuvatut ”läheisyys OK” –yhteyssuhteet jätettiin huomioimatta ja painoarvoa annettiin eniten välttämättömille ja erittäin tärkeille yhteyssuhteille.

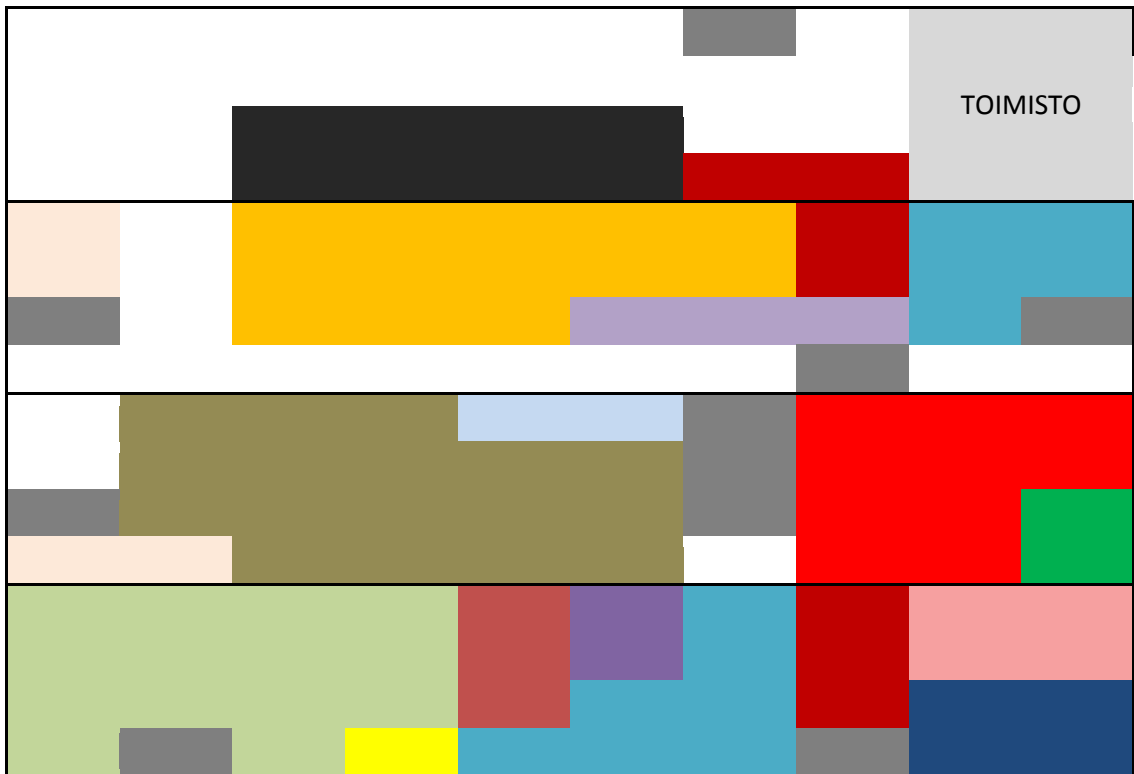


KUVA 18. Toimintojen yhteyssuhdepiirustus lopullisessa muodossaan.

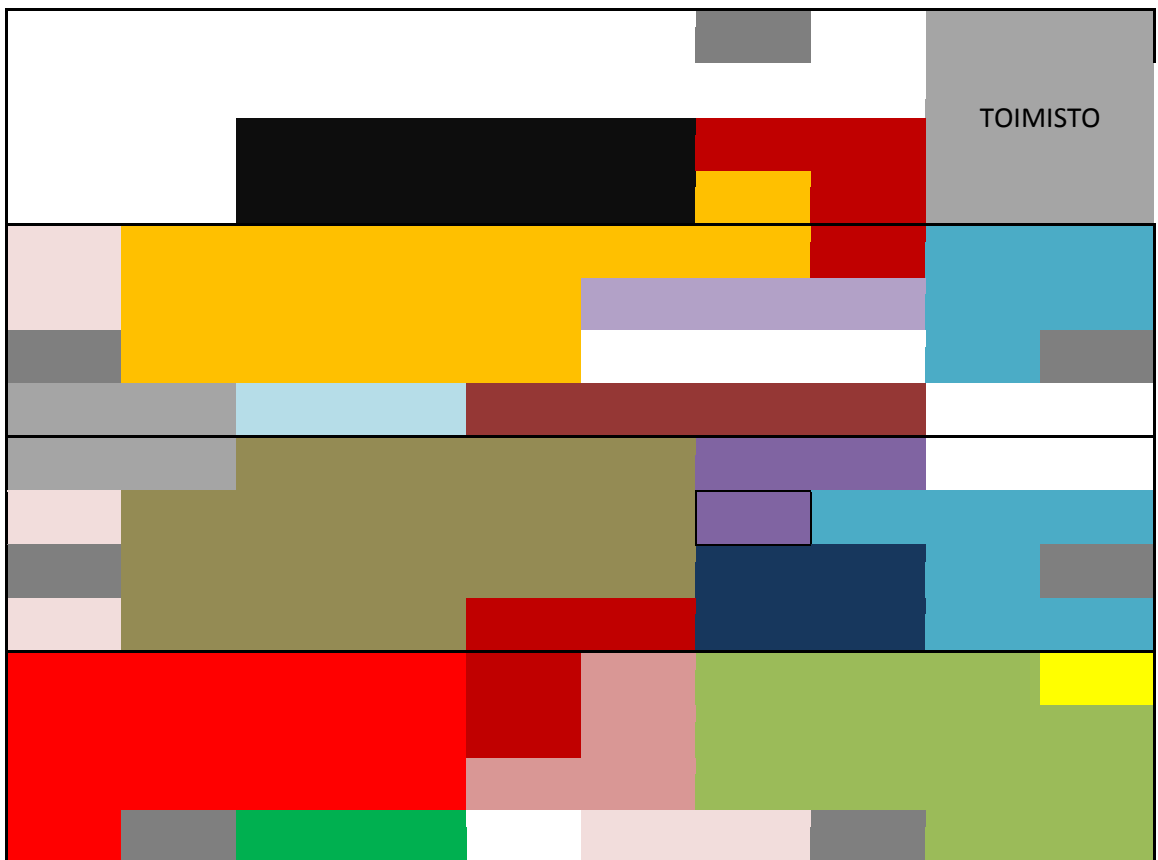
Yhteyssuhdepiirustuksen perusteella alettiin tehdä alustavia layout-suunnitelmia. Näiden toteuttamista rajaavat käytännön rajoitukset ja tuotantoprosessin ulkopuoliset tekijät, joita oli hyvin vähän. Merkittävimpiä rajoitteita olivat:

- Nosto-ovien sijoittuminen ja koko
- Tontin ja hallin välinen etäisyys kapeammilla sivuilla
- Väestönsuojan sijoittaminen
- Lastuimurin sijoittaminen ja putkituksen veto
- Hallien välisten tukipilarien ristitukien sijoittuminen, mikä ei suunniteltavien hallien osalta ollut tiedossa, mutta tuli kuitenkin ottaa huomioon.

Tulosten perusteella syntyi lopulta kaksi periaatteellista layout-ehdotusmallia, joiden karkeat laatikko-layoutit ovat esitettynä kuvissa 19 ja 20. Kuvissa kaksi ylintä lohkoa ovat olemassa olevat hallinosat ja kaksi alinta rakennettavat osiot. Valkoinen alue kuvissa on vapaaksi jäävää tilaa. Eri työnvaiheiden vaatima tila ei ole näissä tarkasti määritetty, vaan laatikot kuvaavat karkeita tilavaatimuksia. Ruutujen koko on suhteessa rakennusten todellisiin mittoihin. Muutamia työnvaiheita kuten pakkaus ja varastointi sekä sahaus jaettiin pienempiin osiin, sillä sen tiedettiin olevan mahdollista toteuttaa helposti.



KUVA 19. Yhteyssuhdepiirustuksen perusteella muodostettu laatikko-layout.



KUVA 20. Yhteyssuhdepiirustuksen perusteella muodostettu toinen versio laatikko-layoutista

Molemmissa laatikko-layouteissa pyrittiin osastot pitämään aina yhden hallin osan sisällä, siltanosturien liikealueiden ja hallin osien välisten tukiristikoiden sijoittumisen vuoksi. Vapaaksi jäävä tila pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman yhtenäiseksi.

Kummastakin laatikko-layoutista tehtiin 3d-mallinnuksena kaksi eri versiota, joiden lopputulokset muokkautuivat tarkempien tilavaatimusten ja muiden fyysisten rajoitteiden perusteella hiukan erilaisiksi. Tuotelinjojen layoutit perustuvat tuotantolinjalayoutiin, joista osalla on yhteisiä resursseja tai U-solu-layoutiin. Ehdotuksissa yksi ja kaksi keskeisimpänä ajatuksena on toteuttaa yksi pääkäytävä ja muuten minimoida käytävien tarve. Tuotannossa materiaali siirtyy vaiheelta toiselle käsivoimin pyörällisissä vaunuissa, joten käytävätilantarve on pieni. Jalankulkuun tulee toki varata tilaa. Toinen merkittävä ero ehdotusten yksi ja kaksi sekä kolme ja neljä välillä on materiaalin päävirtaussuunta hallissa, joka on jälkimmäisissä pitkän sivun suuntainen ja ensimmäisissä osittain poikittainen.

7.4.2 SWOT- ja hyötyarvoanalyysi

Layout-ehdotusten arvioimiseksi tehtiin ensin SWOT-analyysi. Analyysi toteutettiin yhdessä kohdeyrityksen edustajien kanssa. Kaikista arvioiduista ehdotuksista löydettiin täydennettävää kaikkiiin kentiin, mutta joiden seikkojen kohdalla oli vaikea päättää oliko kyse edusta vai haitasta.

TAULUKKO 3. Layout-ehdotusten 1 ja 2 SWOT-analyysi.

VAHVUUDET		HEIKKOUEDET	
Joustava eri tuotelinjoissa tapahtuville layoutin laajennuksille tai muutoksille		Ehdotus 1: vanhemman sahan sijoittuminen pakottaa rajoittaman siltanosturien liikealuetta lastuimurin putkituksen vuoksi	Lastuimurin putkituksien veto sahoille on ongelmallista
Suurin osa valmiista tuotteista voidaan valmistaa pääkäytävän ääreen trukilla noutoa varten		Pääkäytävän ulko-ovi vain 4m leveä	
Ehdotus 1: kaikki profiilit saadaan sisälle hallin samalta sivulta	Pihaliikenne rauhoittuu, sillä vanhan hallin toimiston viereisestä ovesta ei ole suunniteltua liikennettä	Materiaalivirrat poikittain hallin lohkojen läpi	Tukiristikkojen sijoittuminen rajoittaa poikittaista liikennettä
MAHDOLLISUUDET		UHAT	
Vapaaksi jäävä tila on yhtenäinen	Mahdollistaa vapaan tilan ottamisen uusien tuotteiden käyttöön tms.		
		Tukiristikoiden sijoittuminen suhteessa poikittaiseen liikenteeseen.	

Ehdotuksissa yksi ja kaksi eduksi todettiin lattiapinta-alaa säästävä pääkäytäväajatus ja joustavuus mahdollisia tulevia layout-muutoksia ajatellen. Huonoimpina puolina pidettiin sahojen sijoittamisesta aiheutuvaa lastuimurin putken sijoittamista, joka saattaa haitata siltanosturilla työskentelyä. Lisäksi hallinosien väliset poikittaiset materiaalivirrät nähtiin riskinä, sillä suunniteltavan osan tukiristikoiden sijoittuminen saattaa muuttaa layoutin toteuttamista.

Layout-ehdotuksissa 3 ja 4 merkittävimmät ero ovat väestönsuojan sijoittumisessa, ja siitä aiheutuen myös pientarvikevaraston ja ovien varustelupisteen sijainnissa. Muilta osin taulukoiden 4 ja 5 arviot pätevät ristiin.

TAULUKKO 4. Layout-ehdotuksen 3 SWOT-analyysi

VAHVUUDET		HEIKKOUEDET	
Iso tila mahdollistaa tuotannon laajentamisen	Olemassa oleva seinä voidaan siirtää sellaisenaan uuden hallin seinäksi	Osa profiileista otetaan halliin sisälle eri suunnasta	Lähtevää tavaraa tulee ulos hallin eri sivuilta joten trukki liikenne pihalla laajenee
Valtaosa profiileista saadaan sisälle hallin samalta sivulta	Lähteille tuotteille tuotelinjoittaan omat ovet	Ennen kuin prosessi on täydessä tuotannossa saattaa halliin jäädä paljon tyhjää tilaa	Pitkät siirtomatkat hallissa
Olemassa oleva seinä voidaan siirtää sellaisenaan uuden hallin seinäksi	Oviaukot seinässä pysyvät samassa paikassa		Kaksikerroksinen väestönsuoja rajoittaa siltanosturin liikealuetta
Väestönsuojan rakentaminen olemassa olevien toimistojen yhteyteen pitää toimistot yhtenäisenä	Myös käyttö arkistona on helpompaa		
MAHDOLLISUUDET		UHAT	
Tilaa käytävien toteuttamiselle		Iso tila. Koko tuotantoa ei näe yhdellä silmäyksellä.	
Tilaa tuotannon kasvamiselle		Muut järjestelmät eivät pysy kasvavan tuotannon mukana	
Laaja piha-alue sekä tulevalle että lähtevälle tavaralle		Väestönsuojan rakentaminen vanhan hallin puolella saattaa aiheuttaa kohtuuttomia kustannuksia.	Väestönsuoja vie tilaa tuotannosta ja ei ole myöhemmin siirrettävissä

Arvioitaessa ehdotuksia kolme ja neljä isoimmaksi eroksi osoittautui väestönsuojan sijoittuminen. Vanhan hallin yhteyteen rakennettaessa rakennuskustannukset ja rakentamisen aikainen tuotannolle aiheutuva häiriö ovat merkittäviä haittapuolia, mutta täl-

löin väestösuoja saataisiin paremmin hyödynnettyä esimerkiksi arkistona sen sijaitessa olemassa olevien toimistojen yhteydessä. Jokaisessa ehdotuksessa väestönsuojan kaksikerroksisuus tulee rajoittamaan siltanosturin liikealuetta, mutta toisen kerroksen hyödyntäminen toimistotilana on tätä suurempi etu.

TAULUKKO 5. Layoutehdotuksen 4 SWOT-analyysi.

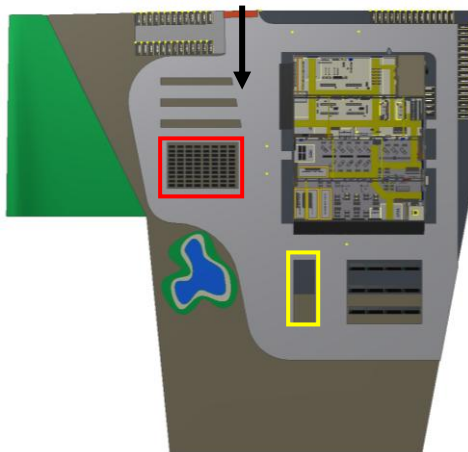
VAHVUUDET		HEIKKOUEDET	
Olemassa oleva seinä voidaan siirtää sellaisenaan uuden hallin seinäksi	Oviaukot seinässä pysyvät samassa paikassa		Kaksikerroksinen väestönsuoja rajoittaa siltanosturin liikealuetta
		Pakkaukset täytyy valmistaa jokaisen tuotelinjan ulko-oven ääressä tai kootusti yhdessä paikassa ja jakaa eri tuotelinjoille	Pitkät siirtomatkat tai useita pakkausten teko pisteitä
MAHDOLLISUUDET		UHAT	
Tilan koko antaa joustavuutta mahdollisiin layout-muutoksiin		Väestönsuoja vie tilaa tuotannosta ja ei ole myöhemmin siirrettävissä	

Eri layout-ehdotuksille tehtiin myös hyötyarvoanalyysi yhdessä kohdeyrityksen edustajien kanssa. Analyysin painokertoimet määritettiin yhdessä arvioimalla ja keskustelemalla eri asioiden painottamisen tärkeydestä. Hyötyarvoanalyysissä määritettiin arvioitavat ominaisuudet sekä niitä vastaavat painoarvot. Eri ehdotuksille asteikolla yhdestä viiteen annetut arvosanat laskettiin painokertoimien avulla yhteen, ja saatiin lopulta eri vaihtoehtojen numeerinen vertailuarvo. Eniten painotettiin materiaalivirtojen sujuvuutta tuotannossa sekä oviaukkojen käyttöä materiaalien sisään otossa. Erot eri vaihtoehtojen kesken jäivät varsin pieniksi, kuten taulukon 6 tuloksista voi havaita. Parhaaksi vaihtoehdoksi osoittautui versio kaksi, jonka vahvuutena olivat hyvä visuaalisen ohjauksen toteutettavuus pieni käytävien vaatima pinta-ala. Visuaalinen ohjattavuus arvioitiin parhaaksi selkeiden materiaalivirtojen ja U-solun, mutta myös väestönsuojan toiseen kerrokseen sijoitettavien työnjohdon tilojen hyvän näkyvyyden vuoksi.

TAULUKKO 6. Hyötyarvoanalyysin tulokset eri layoutehdotuksille.

Layoutversio	materiaalivirtojen tehokkuus sisällä	materiaalivirtojen tehokkuus ulkona	oviaukkojen käyttö raaka-aineden sisään- otossa	oviaukkojen käyttö valmiiden tuotteiden osalta	lattiapinta-alan käytön tehokkuus	käytävien vaatima pinta-ala	tuotantotilojen laajennettavuus	muunneltavuus mm. hankittaessa uusia koneita tai vaihdettaessa vanhoja uusiin	visuaalinen ohjattavuus	toteuttamisen helppous	toteuttamisen edellyttämät kustannukset	YHT.
Painoarvo -->	5	1	5	4	4	3	1	4	4	3	3	
Versio 1	3	3	4	4	3	4	3	3	4	2	4	127
Versio 2	4	2	3	4	4	4	3	3	5	2	4	134
Versio 3	5	2	3	3	5	2	1	3	4	1	2	118
Versio 4	5	2	3	3	5	2	1	3	3	3	4	126

Piha-alueen layout on kaikissa laajennukseen liittyvissä tuotannon layout-ehdotuksissa sama. Ehdotus on esitetty kuvassa 21, ja siitä voidaan nähdä parkkipaikkojen, raaka-aine- ja valmistuotevarastojen sijoittuminen. Profiiliraaka-aineet sijoittuvat kuvan oikeaan alakulmaan ja lasiraaka-aineet parkkipaikan viereen vasempaan yläkulmaan. Valmiit kaiteet sekä parveke- ja terassilasitukset sijoittuvat kuvassa punaisella laatikolla osoitettuun kohtaan, ja julkisivuelementit sekä ikkunat ja ovat keltaisella laatikolla osoitettuun kohtaan. Kuvan harmaa alue on liikenteelle suunniteltua ajoväylää. Pääajoväylä kulkee hallien päädyn ja varastoalueen välistä. Oikean yläkulman ajoväylälle on suunniteltu ainoastaan vähäistä henkilöautoliikennettä jalankulkuliikenteen lisäksi. Piha-alueen ulkoreunat tulee pitää riittävältä osin vapaana talven lumien kasausta varten. Tontin kulmaan voidaan sen alavuuden vuoksi toteuttaa lampi ja siihen liittyvä viheralue.



KUVA 21. Ehdotettuihin tuotannon layouteihin suunnitellun piha-alueen layout.

8 VÄLINEITÄ LÄPÄISYAIKOJEN LYHENTÄMISEKSI

Jatkuva parantaminen eli Toyotan filosofioista Kaizen voidaan ottaa läpäisyaikojen lyhentämisen lähtökohdaksi. Jatkuvaa parantamista tulee tehdä kokonaisvaltaisesti toimintatavoissa ja prosesseissa sekä varsinaisessa toiminnassa lattiatasolla. Liiketoimintaprosessien tulee tukea lattiatasolla tapahtuvaa toimintaa, sillä ne määrittelevät päivittäisen toiminnan puitteet. Arvokkaita kehitysideoita tulee monesti työntekijöiltä, kun heitä siihen kannustetaan sekä osoitetaan, että heitä kuunnellaan ja heidän mielipiteillään on vaikutusta. Henkilökunnan osallistamisella päätöksentekoon on myös motivoiva ja sitouttava vaikutus. Systemaattinen kehitysideoihin tutustuminen työntekijöiden kanssa esimerkiksi kuukausittain sopivassa yhteydessä kuten tuotantopalaverin tai vastaavan päätteeksi olisi käyttökelpoinen tapa. Kannustimeksi täytyy luoda sopiva palkitsemisjärjestelmä, joka voi olla rahallinen korvaus tai vapaa-ajalla palkitseminen, mutta myös pelkkä esimiehen ja johdon kannustus saattaa riittää.

8.1 Tuotannonohjaus

Suurin haaste on vaihtelun hallinta koko tuotannollista toimintaa ajatellen. Pieniä työpistekohtaisia parannuksia voidaan tehdä läpäisyaikojen lyhentämiseksi ja hukan poistamiseksi, mutta puskurivarastoja käyttävän imuohjauksen käyttö, ja merkittävät läpäisyajan lyhennykset ovat mahdollisia vasta, kun tilauksien ja toimituksien väliset vaiheet ovat hallinnassa. Tuotannonohjaukseen liittyvien ongelmien ratkaisemiseksi tulisi ryhtyä ratkaisemaan juurisyytä esimerkiksi viisi kertaa miksi –menetelmän avulla. Vastauksissa ei saa tyytyä ilmeiseen kehäajatteluun johtavaan ratkaisuun. Tasoitettua tuotantoa joudutaan mahdollisesti tukemaan käyttämällä riittävän suurta valmistuotevarastoa sekä ottamalla tuotantokapasiteetti sekä tuotannonsuunnittelun aikaikkuna muutoksia ajatellen entistä tarkemmin huomioon.

Työnvaiheiden välisten puskurivarastojen pienentäminen ennalta määritettyyn määrään ja mahdollisesti jopa poistaminen tukee ajatusta Toyotan yksiosaisesta virtauksesta. Kun vaiheiden välistä varastointia pienennetään pakottaa se kehittämään toimintaa, sillä ongelmakohtia ei voi häivyttää tuotantokatkoksilta pelastavan puskurivaraston alle. Tämä väijäämättä lyhentää läpäisyaikaa, mutta tulokset eivät näy heti. Pikemminkin erilaisiin ongelmiin törmääminen aiheuttaa aluksi katkoksia ja muita viivytyksiä. Oleellista onkin, että johto ja esimiestaso sitoutuvat puskurivarastojen vähentämiseen ja läpäisyajan lyhentämiseen sitä kautta hieman pidemmällä aikavälillä, eikä kehitystyöstä luovuta heti ongelmien alettua. Ideaalitilanteessa kohdeyrityksen tapauksessa edellinen vaihe käsitte-

lee työkappaleet siinä järjestyksessä kuin seuraava työnvaihe niitä tarvitsee, jolloin voitaisiin toimia miltei kädestä käteen periaatteella. Tämä ei tietenkään ole täysin toteutettavissa esimerkiksi profiileita sahattaessa, sillä materiaalimenekin optimointi määrittää sahausjärjestyksen, joka on eri kuin seuraavan vaiheen työstöjärjestys. Sahauslistan sisäistä profiilijärjestyksen optimointia tekemällä tähän voidaan mahdollisesti vaikuttaa. Työkappaleet kuljetetaan kohdeyrityksessä työnvaiheelta toiseen pyörällisissä vaunuissa tai telineissä ennen viimeisintä kokoonpanovaihetta. Näiden kuljetusvälineiden määrää säätelemällä puskurivarastojen kokoa voidaan rajoittaa. Lisäksi vaunut ja telineet voidaan hyödyntää toimimaan *kanban-järjestelmän* tapaan siten, että tyhjä vaunu antaa signaalin alkaa valmistamaan uutta erää tai täydet vaunut jonkin vaiheen kohdalla viestivät tuotannon virtauksen ongelmista. Kun vaunujen määrää rajoitetaan virtauksen kannalta riittäväksi, saadaan keskeneräisen tuotannon määrä pysymään hallittuna.

Siisteys ja käytävät ovat tärkeitä elementtejä selkeän materiaalivirtauksen kannalta. Siistillä työpaikalla on myös työntekijöitä ajatellen työviihtyvyyttä ja -turvallisuutta parantava vaikutus ja tehtaalla vierailevia asiakkaita tai toimittajia ajatellen imagollinen vaikutus. Vaatimus työpaikan pitämisestä siistinä edellyttää työtä, mutta kun toimintatavasta tulee rutiinia, ei siihen kulu merkittävästi työaikaa, ja sekin saadaan moninkertaisena takaisin, kun materiaalit ja välineet löytyvät etsimättä. Työkaluna tähän kannattaa käyttää 5S-metodiikkaa. Erityisesti tulee muistaa seurata kehitystyön myötä muuttuvien toimien toteuttamista jatkossakin. Luotua siisteyteen ja järjestykseen tähtäävää järjestelmää tulee siis sisäisesti auditoida ja siitä tulee antaa palautetta.

8.1.1 Tuotannon vaiheajat ja niiden lyhennystoimet

Kaikki kohdeyrityksen tuotelinjojen tuotteet valmistetaan siten, että yksi vaihe käsittää joko työstöä yhdellä koneella tai kokoonpanoa yhdessä pisteessä. Eri työnvaiheet luonnollisesti ovat kestoiltaan vaihtelevan mittaisia. Erilaiset, tuotteisiin tulevat valinnaiset osat, aiheuttavat samoissa työvaiheissa läpäisyajkojen vaihtelua eri tuotantotilauksien kesken. Monet työnvaiheet ovat hyvin paljon riippuvaisia ihmisten tekemästä työstä. Suurin osa jalostavasta työstä tuotantotilausta kohti koostuu manuaalisesta kokoonpanotyöstä. Nykyisellään työnvaiheet muodostavat selkeitä kokonaisuuksia, joten työnvaiheiden yhdistämisellä tai osittamisella ei kyetä vaikuttamaan tuotelinjojen työnvaiheiden tasapainotukseen. Helpoin tapa tasata työmäärää eri työnvaiheissa on sopeuttaa työntekijäresurssit siten, että työnvaiheiden välille ei muodostu puskurivarastoja tai työnvaiheiden tyhjäkäyntiä. Mitoittaminen tulee tehdä pullonkaulatöönvaiheen mukaan, joka nykyisessä tuotannossa ja nykyisellä konekannalla on tuotantotilauksen aloittava sahaus. Sahauksen osalta tulee mietittäväksi mahdollisuus osittaa isoimpien tuotantotilausten sahaus, siten että välissä sahataan jokin muu pienempi tuotantotilauksien, jonka sisäinen asiakas on eri tuotelinja kuin isomman tuotantotilauksen kohdalla. Haasteena on hallita raaka-ainemateriaalin varastointia, ei niinkään asetusajkoja. Tuloksena olisi tasoitettu tuotanto, joka syöttäisi osia seuraavien vaiheiden imupuskuriin tasaisemmalla tahdilla, jolloin virtaus tasoittuisi ja läpäisy aika sekä KET pienenisivät.

Työnvaihekohtaisista vaiheajoista voidaan erottaa toisistaan varsinainen jalostava työaika eli lastua irrottava koneaika ja kokoonpanotyöhön suoraan kulunut aika sekä jalostamaton työaika eli työstettävien materiaalien nouto ja muu kuljettaminen, osien tai työkalujen etsiminen, virheiden korjaaminen, työvälineiden asetus aika sekä odotusaika. Dramaattisinta on huomata, että varsinainen jalostava aika on pieni suhteessa koko työaikaan. Vaiheajoja seuraamalla ei ole tarkoitus pyrkiä teettämään enemmän töitä vähemmällä, vaan niiden avulla on helppo löytää työn tekemisestä kohteita, johon tarpeetomasti kuluu aikaa joka voitaisiin käyttää jalostavan työn tekemiseen. Tulokset tulee tutkia yhdessä työntekijöiden kanssa, ja antaa samalla heille sysäys oman työnsä kehittämiseen. Työkappaleiden, osien tai työkalujen nouto on työtä, jonka vähentäminen tai poistaminen on mahdollista huolellisella suunnittelulla ja toiminta- tai työtapoja muuttamalla, ja kaikki se vain helpottaa varsinaisen työn tekemistä. Työntekijän on omassa työssään helpoin keskittyä lean-hukista turhien liikkeiden poistamiseen kehittämällä työtapoja tai ideoimalla ratkaisuja asioiden paremmaksi toteutustavaksi. Tällaisia voisi olla esimerkiksi työvälineiden sijoittuminen ja asetus aikoihin liittyvät kehitystoimet. Muut jalostamattoman työajan aiheuttavat hukat ovat riippuvaisempia tuotannonohjauksen toteuttamisesta, joista ensisijainen vastuu on toimihenkilöillä.

8.1.2 Vaiheajojen seurannan toteuttaminen

Tuotannon vaiheajojen seurantaa ei kohdeyrityksen tapauksessa ollut toteutettu ennen tämän työn aloittamista, mutta työn tekemisen lähestyessä loppuaan alettiin parvekekaidelinjan läpäisyajoja sekä työn vaiheiden aikoja keräämään tarkemmin, jotta jalostavan ja jalostamattoman työajan muodostumisesta saataisiin parempi käsitys. Työn valmistumisvaiheessa kerättyä tietoa oli kuitenkin käytettävissä vain kahdesta tuotantotilauksesta, joten informaatio ei ollut riittävää tilastolliseen tarkasteluun. Käytettävissä olevan tiedon perusteella suurin osa vaiheen läpäisyajasta on merkitty yhdeksi työnvaiheajaksi, joka käsittää sekä jalostamatonta että jalostavaa työtä. Työnvaiheesta ja tuotantotilauksesta riippuen työnvaiheajaksi muodostui noin 90 % vaiheen kokonaisläpäisyajasta. Käytetty seurantalomake ja sen täyttämistapa vaatii tarkentamista, jotta kaikki työn vaiheet ja niihin kulunut aika saadaan dokumentoitua riittävällä tarkkuudella muokkaamalla lomakepohja työnvaiheen tehtäviä vastaavaksi. Tavoitteena on saada minuuttitasolla tarkasti selville kuinka paljon aikaa menee todellisen jalostavan työnvaiheen suorittamiseen ja mihin työnvaiheisiin muu osa vaiheen läpäisyajasta kuluu. Jalostavan työnvaiheen mittaaminen tarkoittaa aikaa, joka kuluu esimerkiksi seuraavissa vaiheissa:

- sahan tai muun työstökoneen lastunirrottamiseen käyttämä aika
- tiivistemassan levittämiseen tai tiivisteiden asentamiseen
- ruuvien tai vetoniittien kiinnittämiseen
- lukitusosien, saranoiden, liukukiskojen tms. asentamiseen (aika, jolloin osat kiinnittyvät toisiinsa)
- eristemateriaalien ja levyjen sekä listojen leikkaamiseen

- pakkausmateriaalin kietomiseen pakkauksen ympärille ja sen kiinnittämiseen. Yllä mainitut esimerkit ovat sivun 24 kuvan 8 mukaan joko koneaikaa tai käsiaikaa. Kaikki muu työ on Toyotan oppien mukaan joko välttämätöntä asetus- ja apuaikaa tai poistettavaa hukkaa. Asetus- ja apuaikaa tulee pyrkiä siirtämään tapahtuvaksi ulkoisena yhtä aikaa jalostavan vaiheen kanssa. Todennäköisesti näiden työvaiheiden kehittäminen jopa niitä poistamalla lyhentää läpäisyäikää eniten. Ilmeisiin hukkaa aiheuttaviin vaiheisiin, kuten tiedonkulun tai materiaalipuutteiden aiheuttamiin ongelmiin, voidaan puuttua ilman tarkkaa työvaiheiden seurantaa, mutta jos työvaiheita halutaan kehittää systemaattisesti, täytyy vaiheajat tietää tarkasti.

8.2 Sitoutunut pääoma ja varaston kiertoaika

Varastointi aiheuttaa materiaalinkäsittelynä jalostamatonta työtä sekä lisää sitoutuneen pääoman määrää. Toyotan filosofian mukaan tämä on hukkaa, josta asiakas ei ole kiinnostunut maksamaan. Tilaus- ja varastointikustannusten vertailu antaa käsityksen kumpaa tapaa, varastointia vai useampia tilauseriä, kannattaa käyttää. Varastoinnin kokonaiskustannukset saattavat kuitenkin olla yllättävän suuret. Kohdeyrityksen osalta keskeisimpien komponenttien kohdalla epäkuranttisuusvaara on hyvin pieni, sillä ne tilataan tuotantotilauskohtaisesti tarpeeseen. Tärkeää onkin tilattaessa seurata tuotannon karkeasuunnittelua, jotta tilaukset voidaan pyytää toimitettavaksi juuri oikeaan tarpeeseen, eikä liian aikaisin tai liian myöhään. Näiden keskeisten komponenttien toimitusajoista riippuen täytyy määrittellä yhdessä myyjien ja tuotannonsuunnittelijoiden sekä työnjohdajien kanssa aikaikkuna, kuten jo edellisessä luvussa todettiin. Tämä aikaikkuna jäädytetään muutoksilta materiaalitilausten oikea-aikaisuuden varmistamiseksi. Muutoksilta ei tietenkään koskaan täysin vältytä, mutta tieto niistä täytyy päätyä jokaiselle yllä mainitulle taholle.

Tuotantotilausten asiakaskohtaisuuden takia osia ei voida valmistaa etukäteen puolivalmisteiksi, vaan ajoitetun tuotannon mukainen tuotantotilaus valmistetaan alusta loppuun saakka. Mikäli toimitusajankohta tässä vaiheessa viivästyy, mikä on rakennusprojektin kohdalla monesti arkipäivää, valmistuu tilaus valmistuotevarastoon.

Kohdeyrityksen tilanteessa *ABC-analyysi* pääosin helppo toteuttaa. Jos jakoperiaate on ensisijaisesti materiaalikustannus ja toissijaisesti kriittisyys tuotannon kannalta A-luokkaan kuuluvat alumiiniprofiilit sekä lasilevyt. A-luokan osat tilataan tuotantotilauskohtaisesti tarpeeseen. B-luokkaan kuuluvat mm. tiivisteet, eristeet ja tietyt pienosat kuten lukkopesät. Näiden tuotteiden kulutusta seurataan ja niitä tilataan tarvittaessa. B-luokan osien puuttuminen aiheuttaa kokoonpanossa helposti keskeytyksiä tai tuotantotilausten uudelleenjärjestelytarvetta tuotantoon. Muut osat ja kiinnitystarvikkeet sekä apuaineet kuuluvat C-luokkaan. C-luokan osia voidaan seurata kaksilaatikkomenetelmällä määrittämällä sopivat tilauspisteet, siten että täydennystilaus ehtii saapua ennen toisenkin laatikon loppumista.

9 YHTEENVETO JA JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET

Työn tuloksena saadut layout-ehdotukset, ja niistä analysoimalla saatu vaihtoehtojen paremmuusjärjestys antavat selkeät ratkaisut layout-muutosten toteuttamiseksi. Työn tulokset ovat avuksi jo ennen laajennusosan pohjatöiden tekoa, sillä niistä löytyy mitta-kaavassa olevat suunnitelmat myös muille piha-alueella tehtäville muutoksille, kuten henkilökunnan parkkipaikalle, raaka-aineiden ja valmiiden tuotteiden varastoinnille sekä tavaraliikenteen ajoväylille. Kohdeyritys sai käyttöönsä layout-suunnittelun yhteydessä mallinnetut 3d-CAD-komponentit sekä -koonpanot, joten suunnitelmien muuttaminen tai layoutin päivittäminen 3d-muodossa on verraten vähätöistä.

Layout-muutosten toteuttamisen lisäksi sekä nykyisessä tuotantotilassa että myöhemmin uudisrakennus mukaan lukien on tuotannossa myös muita kehityskohteita. Pieniä parannuksia on helppo alkaa ideoida ja toteuttaa. Muutosten toteuttaminen vaatii kuitenkin taakseen yrityksen johdon tuen sekä tavoitteet, joiden toteutumista seurataan. Työkaluiksi voidaan ottaa sivun 29 kuvan 7 vaatimustasoltaan kevyemmät lean-työkalut, kuten 5S, seitsemän hukkaa, arvovirta-ajattelu ja visuaalinen ohjaus. Keskeisintä jatkoa ajatellen olisi keskittyä työnvaiheiden vaiheajojen rakenteeseen. Kun kerätty tieto on riittävän yksityiskohtaista sekä määrältään riittävää, on sen perusteella mahdollista tehdä analyysjä tärkeimpien kehityskohteiden löytämiseksi. Kerättyä tietoa voidaan käyttää myös esitysmateriaalina esittäessä tulevien muutosten taustoja työntekijöille. Lisäksi kerätyn tiedon perusteella voidaan määrittää tuotannon hienokuormitusta ja tehdä entistä tarkempia jälkilaskelmia.

Tämän työn jatkoa ajatellen seuraavia vaiheita tuotannonkehittämisessä olisi määritellä riittävät resurssit tuotannonkehittämistoimien edistämiseksi sekä aloittaa työntekijöiden keskuudessa tavoitteellisen jatkuvaan parantamiseen tähtäävä ajattelumallin juurrutus. Kun työvaiheiden vaiheajat vaihteluineen ovat tiedossa voidaan seuraavat konkreettiset vaiheet toteuttaa 5S ja kaizen –periaatteita noudattaen hukan poistamiseksi:

- Toimintamallin kehittäminen suuntaan, jossa siirrot vaiheelta toiselle tehdään pienemmissä erissä, huomioiden tietenkin muut tuotannonohjauksen aiheuttamat rajoitteet.
- Parvekelasielementtikokoonpanon apuvälineiden ja lasilevyjen käsittelyn kevyt automatisointi. Myöhemmässä vaiheessa kysymykseen voi tulla myös mahdollisesti myös laajempi automatisointi.
- Osakokoonpanosolun työpisteen uudelleen suunnittelu siten, että osat, työkalut ja työkalut voidaan sijoittaa etsimiseen ja siirtelyyn kuluva hukkaa minimoiden.

- B- ja C-osien materiaalihallinnan toteuttaminen työpisteillä esimerkiksi kaksi-laatikkojärjestelmällä, siten että täydennykset tekee erikseen vastuullinen henkilö ilman, että asentajien tarvitsee lähteä etsimään täydennysosia.

Täysin mahdollista on että suurimmat muutokset tuotannon virtauksen parantamiseksi on mahdollista tehdä lähes pelkästään toimintatapoja muuttamalla sekä mahdollisesti hankkimalla edullisia ja yksinkertaisia tuotantoa tukevia aputyökaluja. Ainoa suurempi investointi olisi uuden sahan hankinta, jotta töiden tasaaminen eri tuotelinjoille olisi helpompaa. Muut investoinnit olisivat ajan myötä tapahtuvia normaaleja uusintainvestointeja, joiden vaikutus tuotannonohjaukseen tulee tarkastella ennen hankintaa.

LÄHTEET

- Anon. 2002. Kaizen for shop floor. 1. painos. New York. Productivity Press division of The Kraus Organization Limited. 85 s.
- Davis, J.V., 2011. Progressive Kaizen. 1. Painos. New York. Productivity Press Taylor & Francis Group. 187 s.
- Harmon, R.L. & Peterson L.D., 1990. Reinventing the factory. 1. painos. New York, The free press.
- Haverila, M. J., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A., 2005. Teollisuustalous. 5. painos. Tampere, Tammer-Paino Oy. 509 s.
- Hellman T. 2012. Seinäjoen Ammattikorkeakoulun virtuaalitekniikan laboratorion esittely. [Esittelytilaisuus] [Viitattu 16.6.2012]
- Krajwski, L. J. & Ritzman, L. P. 2005. Operations management. 7. painos. New Jersey. Prentice Hall. 830 s.
- Lahtinen, T. 2008. Konsultti. Prosis L & H Ky. Esitelmä. Työaikamittausten palautetilaisuus. 13.10.2008. Kauhava.
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. 1. painot. Porvoo. WSOY 197 s.
- Lapinleimu, I. 2000. Ideaalitehdas. 2. painos. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu. 197 s.
- Liker, J. K., 2011. Toyotan tapaan. 2. painos. Jyväskylä, Bookwell Oy. 323 s.
- Manktelow, J. & Carlson, A. 2012. SWOT Analysis. [WWW] [Viitattu 25.6.2012] Saatavissa http://www.mindtools.com/pages/article/newTMC_05.htm
- Moisio, J., 2011. Lean – työkaluja prosessien jatkuvassa kehittämisessä. [WWW] [Viitattu 20.7.2012] Saatavissa: http://www.ims.fi/sites/default/files/21101_Artikkeli_Lean%20Ty%C3%B6kaluja%20prosessien%20parantamiseen.pdf
- Ortiz, C.A., 2006. Kaizen asseibly. 1. Painos. Boca Raton. CRC Press Taylor & Francis Group. 239 s.

Peltonen, A. 1997. Tuottava tehdas. Helsinki. Hakapaino Oy. 207 s.

Pinto, W. J. & Shayan, E. 2007. Layout Design of a Furniture Production Line Using Formal Methods. Journal of Industrial and Systems Engineering Vol. 1 No. 1 pp. 81-96. [WWW] [Viitattu 23.6.2012] Saatavissa: <http://www.jise.info/issues/volume1no1/07.pdf>

Richard Muther & Associates. 2005. Systematic Layout Planning. [WWW]. [Viitattu 19.6.2012] Saatavissa: http://www.ie.eng.chula.ac.th/academics/course/2104328/references/muther/RMA_1146_SLP_Overview_Mfg.pdf.

Ritvanen, V., Inkiläinen, A., von Bell, A. & Santala, J. 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Saarijärvi. Saarijärven Offset Oy. 252 s.

Ritvanen, V. & Koivisto, E. 2007. Logistiikka PK-yrityksessä. Helsinki. WSOY Oppimateriaalit Oy. 200 s.

Stevenson, W. J., 2009. Operations Management. 10. painos. New York, McGraw-Hill/Irwin. 906 s.

Tervola, J., 2012. Tekniikka ja talous. Tilattiin asennuskärry, tulikin tuotantolinja. [Artikkeli].[Julkaistu 23.3.2012]

Teppo, P. 2009. Kokoonpanon kehittäminen. Opinnäytetyö. Kauhava. 59 s.

Tapiola. 2012. T-Turvaopas. 29 s. [WWW] [Viitattu:20.6.2012] Saatavissa: <http://www.tapiola.fi/NR/rdonlyres/E6DDC036-0DDF-4EC9-8CFC-25D7BC64B228/0/Tturvaopastyoturvallisuus.pdf>.

Tuominen, K. 2010. LEAN – Kohti täydellisyyttä. Juva. WS Bookwell Oy. 168 s.

Weng, L. 1999. Efficient and flexible algorithm for plant layout generation. 158 s. [WWW] [Viitattu 24.6.2012] Saatavissa: http://wvuscholar.wvu.edu:8881/exlibris/dtl/d3_1/apache_media/L2V4bGlicmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWRpYS80NzA4.pdf

LIITTEET

Liite 1: Toimintojen vuorovaikutusmatriisi

TUOTERYHMÄ	TYÖNVAIHE / TEHTÄVÄ	JUOKSEVA NUMERO	sahaus	snäpitys	koneistus	poraukset	kopiojyrsinnät	nurkkaliitokset	varustelu / osakp	kaiteiden kp	parvekelasitus kp	ikkuna & ovi kp	julkisivu kp	pakkausten teko	ovien "varustelu"	tiivisteiden katkenta	loveukset	terassilasituksen kp	toimisto / työnjohto	varastointi
kaikki	sahaus	1		1 - A	1 - A	1 - A	1 - A	5 - U	1 - A	1 - E	5 - U	5 - U	1 - A	6 - U	6 - X	6 - U	4 - O	3 - I	4 - A	6 - E
julkisivu	snäpitys	2			4 - U	4 - U	4 - U	5 - X	5 - X	5 - X	5 - X	5 - X	1 - A	6 - U	6 - U	6 - U	4 - U	4 - U	4 - U	6 - U
kaiteet	koneistus	3				2 - O	2 - O	3 - O	6 - U	1 - A	6 - U	6 - U	2 - I	6 - U	6 - U	2 - I	6 - E	6 - O	4 - O	6 - U
ovet, ikkunat ja parvekelasitukset	poraukset	4					6 - O	4 - O	1 - A	6 - U	1 - E	1 - A	6 - O	6 - U	6 - U	6 - U	6 - O	1 - A	4 - O	6 - U
ovet ja ikkunat	kopiojyrsinnät	5						1 - A	5 - X	6 - U	5 - X	1 - A	5 - X	6 - U	2 - I	6 - U	3 - O	5 - X	5 - X	6 - U
ovet ja ikkunat	nurkkaliitokset	6							6 - U	2 - O	6 - U	1 - A	3 - U	6 - U	2 - I	3 - I	3 - O	6 - U	3 - O	6 - U
parvekelasitukset	varustelu / osakp	7								6 - U	1 - A	6 - U	6 - U	6 - U	6 - U	6 - O	6 - U	1 - I	2 - I	6 - I
kaiteet	kaiteiden kp	8									2 - I	2 - I	2 - I	1 - A	6 - U	1 - E	1 - A	2 - O	2 - E	1 - A
parvekelasitukset	parvekelasitus kp	9										2 - O	6 - U	1 - A	6 - U	1 - E	6 - U	3 - I	2 - I	1 - A
ovet ja ikkunat	ikkuna & ovi kp	10											3 - O	1 - A	1 - E	1 - I	6 - U	6 - U	2 - I	1 - E
julkisivut	julkisivu kp	11												1 - -	6 - -	6 - -	6 - -	6 - -	2 - -	1 - -

